

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікаційних систем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050903 «Телекомунікації»

**на тему: «Аналіз технічних принципів побудови мереж доступу по
мідному кабелю»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТС-51

Бондарець Ярослав Богданович

Керівник:

Доцент кафедри ТС

Носков В.І.

Рецензент:

Незалежний експерт з телекомунікацій,

кандидат технічних наук

Вахрушев В.П.

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікаційних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 6.050903 «Телекомунікації» (172 Телекомунікації та радіотехніка)

Програма професійного спрямування – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Л.О. Уривський

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Бондарцю Ярославу Богдановичу

1. Тема роботи **«Аналіз технічних принципів побудови мереж доступу по мідному кабелю»**, керівник роботи Носков Вячеслав Іванович, доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи: Інформаційні матеріали щодо xDSL систем доступу. Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи.

4. Зміст роботи:

Обґрунтувати актуальність теми. Розглянути та проаналізувати структуру міської кабельної мережі та вплив її параметрів на передачу цифрових сигналів. Визначити сучасні вимоги до каналів передачі різного роду трафіку. Виконати огляд систем доступу, побудованих за технологією xDSL у різноманітних її варіантах. Детально розглянути технічні принципи побудови обладнання xDSL. Навести приклади обладнання xDSL провідних виробників та представити варіанти технічних рішень щодо побудови мереж доступу.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 1) Тема та цілі дипломної роботи; 2) Структура міською кабельної мережі та фактори, що впливають на передачу цифрових сигналів; 3) Технологія xDSL та її різновиди; 4) Технічні принципи xDSL; 5) Варіанти технічних рішень при побудові мереж доступу; 6) Висновки по роботі

6. Дата видачі завдання 13 квітня 2019 року.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1 | Передумови та історія виникнення технології xDSL | 18.04.2019 | |
| 2 | Сучасні вимоги до каналів для передачі різного роду трафіку | 21.04.2019 | |
| 3 | Інфраструктура міської кабельної мережі та її вплив на передачу цифрових сигналів | 24.04.2018 | |
| 4 | Технічні принципи та стандарти xDSL-технології. Порівняльний аналіз та область використання | 10.05.2018 | |
| 5 | Огляд обладнання xDSL провідних виробників | 25.05.2018 | |
| 6 | Варіанти технічних рішень при побудові мереж доступу | 30.05.2018 | |
| 7 | Вступ, Висновки | 02.06.2018 | |
| 8 | Чистовий варіант дипломної роботи, плакати | 08.06.2018 | |

Студент

Бондарець Я. Б.

Керівник роботи

Носков В. І.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка викладена на 95 сторінках та включає 35 ілюстрацій, 14 таблиці та 33 джерел за переліком посилань.

Метою роботи є аналіз технологій сімейства xDSL.

В даній роботі розглядаються різновиди xDSL технологій. Визначаються їхні переваги та недоліки, область застосування. Розглядаються технічні методи, що застосовуються в xDSL технологіях.

Приведені варіанти технічних рішень побудови мереж доступу з використанням технологій xDSL та розглянуті конкретні моделі провідних виробників xDSL обладнання.

ABSTRACT

The theme of the work is “Analysis of the technical principals fro access networks based on copper cable”.

In this paper various xDSL technologies are considered. The advantages and disadvantages and scope of application are determined. The technical methods used in xDSL technologies are considered.

The variants of technical solutions for building access networks using xDSL technologies are presented and specific models of leading manufacturers of xDSL equipment are considered.

ЗМІСТ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ | 8 |
| ВСТУП | 11 |
| 1 ПЕРЕДУМОВИ ТА ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ XDSL-ТЕХНОЛОГІЇ | 12 |
| 1.1 Передумови та історія виникнення xDSL-технологій..... | 12 |
| 1.2 Висновки з розділу 1 | 14 |
| 2 СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО КАНАЛІВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ РІЗНОГО РОДУ ТРАФІКУ | 15 |
| 2.1 VoIP-телефонія | 15 |
| 2.2 Системи відеоспостереження | 16 |
| 2.3 IPTV | 17 |
| 2.4 WEB-серфінг..... | 18 |
| 2.5 Висновки з розділу 2 | 19 |
| 3 ІНФРАСТРУКТУРА МІСЬКОЇ МЕРЕЖІ МІДНИХ КАБЕЛІВ І ЇЇ ВПЛИВ НА ПЕРЕДАЧУ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ | 20 |
| 3.1 Структура міської кабельної мережі | 20 |
| 3.2 Аналіз факторів, що впливають на передачу цифрових сигналів по мідних кабелях | 22 |
| 3.3 Висновки з розділу 3 | 32 |
| 4 ТЕХНІЧНІ ПРИНЦИПИ ТА СТАНДАРТИ XDSL-ТЕХНОЛОГІЇ. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ | 33 |
| 4.1 Технічні принципи | 33 |
| 4.1.1 Застосовувані лінійні сигнали і їх порівняння | 33 |
| 4.1.2 Передспотворення лінійного сигналу для компенсації міжсимвольної інтерференції | 41 |
| 4.1.3 Завадостійке кодування | 42 |
| 4.1.4 Перемежовування символів | 43 |
| 4.1.5 Скремблювання сигналу | 47 |
| 4.1.6 Методи поєднання передачі і прийому в одній парі кабелю | 50 |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------|------|------|---------|
| | | | | | НТУУ1068-с.01.ТС-51.2019.ПЗ | | | |
| | | | | | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Аналіз технічних принципів побудови мереж доступу по мідному кабелю | Літ. | Арк. | Акрушів |
| Розроб. | | Бондарець Я.Б. | | | | | | |
| Перевір. | | Носков В.І. | | | | | 6 | 132 |
| Реценз. | | Вахрушев В.П. | | | | ІТС | | |
| Н. Контр. | | Новіков В.І. | | | | | | |
| Затверд. | | Уривський Л. О. | | | | | | |

| | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2 | Різновиди xDSL-технологій. Стандарти МСЕ-Т і область їх застосування в мережах зв'язку | 53 |
| 4.2.1 | HDSL..... | 53 |
| 4.2.2 | SHDSL, SHDSL.bis, extSHDSL.bis, 2BaseTL (EFM) | 55 |
| 4.2.3 | ADSL, ADSL2, ADSL2+ | 58 |
| 4.2.4 | VDSL, VDSL2 | 67 |
| 4.2.5 | G.fast | 69 |
| 4.2.6 | Порівняльний аналіз стандартів xDSL по характеристиці «дальність-швидкість» | 72 |
| 4.3 | Висновки з розділу 4..... | 79 |
| 5 | ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ XDSL ПРОВІДНИХ ВИРОБНИКІВ І ЇХ ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ | 81 |
| 5.1 | Висновки з розділу 5..... | 86 |
| 6 | ВАРІАНТИ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ПОБУДОВІ МЕРЕЖ ДОСТУПУ | 87 |
| | Висновки з розділу 6..... | 91 |
| | ВИСНОВКИ | 92 |
| | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 93 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

| | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ADSL | Asymmetric Digital Subscriber Line - Асиметрична цифрова абонентська лінія |
| AOC | ADSL Overhead Control Channel - Службовий канал управління ADSL |
| ATU-C | ADSL Transceiver Unit-Central Office End - Прийомопередавач ADSL на стороні станції |
| ATU-R | ADSL Transceiver Unit-Remote Terminal End - Прийомопередавач ADSL на стороні абонента |
| CAP | Carrier less Amplitude modulation / Phase modulation - Алгоритм амплітудно-фазової модуляції з придушенням несучої |
| CRC | Cyclic Redundancy Check - Циклічний надлишковий код |
| DLC | Digital Loop Carrier - цифрова система концентрації телефонних ліній |
| DMT | Discrete Multi-Tone Modulation - Дискретна багатоканальна модуляція |
| DRR | Dynamic Rate Repartitioning – Динамічний розподіл швидкості |
| DSLAM | Digital Subscriber Line Access Multiplexer - Мультиплексор доступу цифрової абонентської лінії xDSL |
| DSU | Digital Subscriber Unit – цифрова абонентська одиниця |
| EFM | Ethernet in the First Mile - Ethernet в першій милі |
| EOC | Embedded Operations Channel - Вбудований робочий канал |
| FDD | Frequency Division Duplexing – Дуплексування з частотним розподілом |
| FEC | Forward Error Correction – Схема виправлення помилок |
| FRA | Fast Rate Aadaptation – Швидка адаптація швидкості |

| | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GF | Galois Field - Поле Галуа |
| GSM | Global System for Mobile Communications - Глобальна система для мобільного зв'язку |
| HD | High Definition – Висока роздільна здатність |
| HDSL | High Data Rate Digital Subscriber Line – Високошвидкісна цифрова абонентська лінія |
| HDTV | High-Definition Television - Телебачення високої чіткості |
| HFC | Hybrid Fiber Coax гібридна оптико-коаксіальна мережа |
| iLBC | Internet Low Bitrate Codec – Міжмережевий кодек з низьким бітрейтом |
| IP | Internet Protocol - Міжмережевий протокол |
| IPTV | Internet Protocol Television - Телебачення по протоколу інтернету |
| ISDN | Integrated Services Digital Network - цифрова мережа з інтегрованими службами |
| ITU-T | International Telecommunication Union — Telecommunication sector |
| JPEG | Joint Photographic Experts Group - Спільна група експертів з фотографій |
| MPEG | Moving Picture Experts Group – група експертів в області відео |
| NGN | Next Generation Networks – Мережі наступного покоління |
| OFDM | Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Мультиплексування з ортогональним частотним поділом |
| PAM | Pulse Amplitude Modulation – Амплітудно-імпульсна модуляція |
| POTS | Plain Old Telephone Service - Старі звичайні телефонні служби |
| PSD | Power Spectral Density – Спектральна щільність потужності |

| | |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation - Квадратурна амплітудна модуляція |
| QPSK | Quadro Phase Shift Keying - Чотирьохпозиційна фазова модуляція |
| RFI | Radio Frequency Interference – Радіочастотні завади |
| RPE-LTP | Regular Pulse Excitation — Long Term Prediction - Довготривале лінійне передбачення з регулярним імпульсним збудженням |
| RTP | Real-time Transport Protocol - Протокол передачі в реальному часі |
| SD | Standard Definition - Телебачення стандартної чіткості |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy - Синхронна цифрова ієрархія |
| SDSL | Symmetric Digital Subscriber Line - Симетрична цифрова абонентська лінія |
| SHDSL | Single-pair High-speed Digital Subscriber Line – Однопарна високошвидкісна цифрова абонентська лінія |
| SRA | Seamless RateAdaptation – Фонова адаптація швидкості |
| TC | Trellis Code –решітчаті кодування |
| TCP | Transmission Control Protocol - Протокол управління передачею |
| TCPAM | Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation - Амплітудно-імпульсна модуляція з решітчатим кодуванням |
| TDD | Time Division Duplex – Дуплексна передача з часовим розподілом |
| TDM | Time Division Multiplexing - Мультиплексування з поділом за часом |
| UDP | User Datagram Protocol - Протокол датаграм користувача |
| VDSL | Very high speed Digital Subscriber Line - Надвисокошвидкісна цифрова абонентська лінія |

ВСТУП

На сьогоднішній день існує багато варіантів організації доступу до телекомунікаційних і інформаційних ресурсів Інтернету для абонентів. Забезпечується він за допомогою мереж доступу: бездротових, що будуються з використанням різноманітних радіотехнологій або провідних, що використовують металічні та оптичні кабелі. Весь спектр технологій активно нарощує швидкість передачі даних, адже це є найважливішою характеристикою доступу.

Бездротові мережі не завжди можуть забезпечити стабільний та високошвидкісний доступ до телекомунікаційної мережі, тому корпоративні користувачі роблять вибір в сторону провідних мереж, як більш стабільних та з гарантованою постійною швидкістю.

В умовах сучасної урбанізації на передній план виходить питання прокладення абонентської лінії, та саме воно викликає найбільші складнощі в організації каналу доступу. На щастя минулі десятиріччя залишили нам широку мережу телефонних кабелів.

Технології xDSL дозволяють організувати канал передачі даних по звичайному мідному кабелю, що використовується для підключення телефонних апаратів. За допомогою широкого спектру технічних методів технології xDSL змогли в значній мірі наростити швидкість передачі, яка не втрачає свою актуальність в умовах сьогодення.

1 ПЕРЕДУМОВИ ТА ІСТОРІЯ ВИНИКНЕННЯ XDSL-ТЕХНОЛОГІЇ

1.1 Передумови та історія виникнення xDSL-технологій

Традиційна телефонна мережа загального користування (ТМЗК) дозволяє передавати голос та дані в межах вузької смуги частот (300-3400 Гц). Швидке зростання мережі Інтернет і найбільш поширений доступ до неї за допомогою стандартних аналогових модемів викликали перевантаження ТМЗК, оскільки вона не була розрахована на навантаження Інтернет-трафіком, який характеризується великим середнім часом сеансу зв'язку і більшою нерівномірністю в порівнянні з телефонним навантаженням. Друга проблема полягала в тому, що для комфортного доступу користувачів до послуг існуючої мережі (і в першу чергу мережі Інтернет) швидкості передачі, які можуть забезпечити аналогові модеми, вже було недостатньо. Це відносилось не тільки до приватних користувачів, але і до користувачів сфери бізнесу, які працюють в своїх домашніх офісах і яким необхідно з'єднуватися з корпоративними мережами із значно вищою швидкістю передачі даних, ніж могли забезпечити традиційні аналогові модеми.

Складність досягнення необхідної швидкості з'єднання з мережею Інтернет полягала в основоположних принципах побудови телефонних мереж, які за своєю природою не були призначені для високошвидкісної передачі даних. Окрім того що традиційний телефонний (тобто голосовий) зв'язок здійснюється в дуже вузькій смузі частот, він ще й допускає значно більше загасання сигналу, ніж це можливо при передачі даних. При цьому найбільша проблема лежала (в прямому сенсі цього слова) між телефонною станцією і будинком абонента. За час розвитку телефонного зв'язку пройдено величезний шлях від ручних комутаторів до сучасних цифрових телефонних станцій, що надають абонентам велику кількість різноманітних послуг, але між станцією і абонентом прокладена все та ж кручена пара, що і на зорі телефонії. І таких кручених пар по всьому світу було близько мільярда.

По мірі того, як вартість обладнання користувача, що надає доступ до мережі Інтернет, поступово зменшується, на перший план виходить пропускна здатність з'єднання та його вартість. Кожен, хто користувався мережею Інтернет, змушений був чекати, поки буде знайдено потрібний сайт і завантажена необхідна сторінка.

Користувачеві необхідний був високошвидкісний та стабільний доступ до мережі. Однак, незважаючи на те, що мережа високошвидкісної передачі даних в тій чи іншій мірі охоплює всю країну, доступ кінцевих користувачів до неї ("остання миля") був пов'язаний з технічними та економічними труднощами. Магістральні лінії передачі даних дозволяли передавати гігабіти інформації, але дуже маленька кількість кінцевих користувачів мала можливість передавати дані хоча б зі швидкістю кількох сотень кілобіт. Тягнути до кожного користувача оптико-волоконну лінію дуже дорого. Коаксіальні кабелі (кабельне телебачення) дозволяють здійснювати високошвидкісну передачу, але в основному в одному напрямку. Телефонні лінії для телефонного зв'язку в тому вигляді, в якому вони використовувались в той час, мали низьку швидкість передачі даних. Доступ з необхідною високою швидкістю можуть забезпечити тільки широкосмугові технології, які є майбутнім телекомунікаційної індустрії.

xDSL являє собою сімейство технологій високошвидкісного доступу до онлайн-служб по існуючій мідній абонентській телефонній лінії. В аббревіатурі xDSL символ "x" використовується для позначення конкретного типу технології цифрової абонентської лінії DSL (Digital Subscriber Line). Будь-який абонент, який користується телефонним зв'язком, має можливість за допомогою технологій xDSL значно збільшити швидкість свого з'єднання, в першу чергу з мережею Інтернет. Завдяки різноманіттю технологій DSL користувач може вибрати відповідну саме йому швидкість передачі даних - від 32 Кбіт/с до більш ніж 50 Мбіт/с. При цьому швидкість передачі даних залежить тільки від параметрів і протяжності цієї лінії.

1.2 Висновки з розділу 1

В даному розділі розглянуті передумови, що призвели до появи технологій сімейства xDSL. Також описана історія появи технології. Під час стрімкого розвитку Інтернет технології корпоративним та домашнім користувачам знадобився швидкий доступ до мережі передачі даних. Сімейство xDSL-технологій змогло забезпечити ці потреби використовуючи вже існуючу інфраструктуру мідних кабелів.

2 СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО КАНАЛІВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ РІЗНОГО РОДУ ТРАФІКУ

2.1 VoIP-телефонія

VoIP (Voice over Internet Protocol) – технологія, що забезпечує передачу голосу в мережах комутацією пакетів за допомогою протоколу IP, окремим випадком яких Інтернет, а також інших IP-мереж. Достоїнством IP-телефонії є зменшення вимог до пропускної здатності, що забезпечується урахуванням характеристик голосового трафіку:

- блокуванням передачі різного роду пауз (смыслових, складових, діалогових) які становлять до 30-50% всього часу заняття каналу передачі;
- високою надмірністю мовного сигналу і його стисненням (якість при відновленні не втрачається) до рівня 25-40% від початкового сигналу.

Вимоги до пропускної здатності каналу передачі трафіку IP-телефонії висуваються в залежності від кодека, що використовується. За увесь час існування цього напрямку було розроблено велику кількість різних кодеків, що використовуються для передачі аудіо- та відеоінформації в системах IP-телефонії. Найбільш популярні кодеки:

- G711 - кодек, який використовується в пристроях ISDN. Для роботи цього кодеку достатньо пропускної здатності 64 кбіт/сек.
- G723.1 - відмінною особливістю є можливість роботи при низьких потоках (5.3, 6.3 кбіт/сек). По суб'єктивним оцінкам, забезпечує найгіршу якість (серед розглянутих кодеків).
- G729 - кодек, забезпечує високу якість при використанні невеликої пропускної здатності каналу (8 кбіт / сек).
- iLBC (Internet low bitrate codec) – кодек розроблений для кодування з потоком 13,33 кбіт/сек (розмір кадру 30 мс) і 15,20 кбіт/сек (розмір кадру 20 мс).

- GSM (RPE-LTP) - кодування здійснюється блоками по 20 мс зі швидкістю 13 кбіт/с. Підтримується виробниками обладнання, в основному в шлюзах між стільниковими і VoIP-мережами.

Таким чином, за показником якості кодеки можна розташувати в порядку погіршення якості: G711, iLBC, G729, GSM, G723. По збільшенню пропускної спроможності каналу: G723, iLBC, G729, GSM, G711.

Стандартна затримка - не більше 250 мс. Одночасно з цим для таких систем є критичними затримки пакетів в мережі, не дивлячись на те, що технологія володіє стійкістю до втрат окремих пакетів. Наприклад втрата до 5% пакетів не впливає значною мірою на погіршення розбірливості мови.

2.2 Системи відеоспостереження

Системи відеоспостереження - це комплекс технічних засобів (пристроїв), що забезпечують візуальне спостереження за приміщеннями, територією, конкретними особами і подіями.

При плануванні мережі, за даними Cisco, для IP-камери стандартної роздільної здатності з технологією стиснення MPEG-4 потрібно канал передачі даних з швидкістю від 1 до 2 Мбіт/с, при застосуванні Motion JPEG - від 2 до 8 Мбіт/с, для HD-камер, що підтримують технологію H.264, необхідно 4-6 Мбіт/с. Наведені показники характеризують середні значення інтенсивності трафіку, виміряні в межах декількох хвилин. Однак слід враховувати можливість різких «сплесків» потоків даних. При застосуванні MPEG-4 / H.264 такі викиди найбільш помітні, коли передаються так звані ключові кадри I-frame, що містять повну інформацію про зображення, що відбувається приблизно кожні чотири секунди.

Допустимий час затримок в такій мережі в значній мірі залежить від транспортного протоколу, що застосовується для передачі даних. Трансляція зображень MPEG-4/H.264 по протоколу TCP з мережевого відеореєстратора в

робочу станцію оператора більш чутлива до затримок, ніж запис контенту камер в реєстратор по протоколу UDP / RTP. У більшості випадків затримка в локальній мережі не повинна перевищувати 10 мс, а в мережі WAN - 50 мс з підтвердженням прийому.

При збільшенні затримок починає впливати джиттер. Він виникає через різний час проходження пакетів, які формують зображення, з відеокамери в пристрої відтворення, а також в результаті зміни порядку проходження цих пакетів. Такі явища можливі через різні маршрути транспортування пакетів, мережових перевантажень і ряду інших чинників. При достатній смузі пропускання мережі і прийнятних затримках джиттер, як правило, не впливає на якість зображення. У загальному випадку він не повинен перевищувати 10% виміряного значення затримок.

Ще один важливий фактор - можливість втрати пакетів. У системах зі стандартною роздільною здатністю втрати не повинні перевищувати 1%. Але коли встановлені камери з високою роздільною здатністю, навіть десяти частки відсотка здатні позначитися на якості зображення. Найбільш чутливі до втрат пакетів відеопотоки, стиснення яких здійснюється відповідно до вимог стандартів MPEG-4 і H.264.

2.3 IPTV

IPTV (Internet Protocol Television) - технологія, що забезпечує передачу телевізійного сигналу по мережі Інтернет. Для трансляції в мережу аналогових ТВ-сигналів або каналів ефірного телебачення використовуються спеціалізовані пристрої - кодери. Кодер MPEG-2 приймає відеосигнал від постачальників контенту (наприклад, студій) і кодує його в пакети MPEG. Потім кодер призводить сигнал до постійної бітової швидкості і передає дані, використовуючи встановлені IP- і MAC-адреси в режимі Multicast. На сьогоднішній день відеокодери в основному використовують алгоритм

кодування MPEG-2, що дозволяє вести передачу зі швидкістю 3-3,5 Мбіт/с на одну ТВ-програму. Така швидкість забезпечує якість цифрового зображення, аналогічну якості традиційного аналогового телебачення. Однак трансляція високодинамічного контенту або телебачення високої чіткості (HDTV) вимагає смуги пропускання 15-25 Мбіт/с на каналі.

Втрата одного пакета може призвести до погіршення перегляду протягом однієї секунди, а при послідовній безперервної втрати до 1000 пакетів погіршення перегляду може доходити до 4 секунд. Згідно галузевим нормам, якість сприйняття відеозображення вважається прийнятним, якщо протягом двох годин передачі трапляється не більше одного видимого погіршення зображення. Допускається втрата приблизно одного пакету на мільйон.

2.4 WEB-серфінг

WEB-серфінг включає в себе різноманітні операції, такі як перегляд веб-сторінок, перегляд відео онлайн, електронне листування, прослуховування аудіофайлів, завантаження різноманітних файлів. Вимоги до пропускну здатності каналу відповідно будуть відрізнятися в залежності від роду діяльності. Так наприклад для перегляду в якості SD достатньо швидкості 2 Мбіт/с, в якості HD – 5 Мбіт/с, FullHD – 8 Мбіт/с, а для якості UltraHD знадобиться швидкість передачі даних 30 Мбіт/сек. Для комфортного серфінгу в соціальних мережах та прослуховування музики в високій якості буде достатньо швидкості 2 Мбіт/с. Для організації потокового мовлення потрібен стабільний інтернет. Для якісного стріму, швидкість не повинна опускатися нижче критичного рівня. Для відеопотоку 480p – 5 Мбіт/с, 720p – 10 Мбіт/с, 1080p – 20 Мбіт/с. Для більшості популярних онлайн ігор достатньо швидкості 512 Кбіт/с.

Можна також привести значення прийнятних затримок при роботі в Інтернеті. Соціальні мережі і прослуховування музики не є досить вибагливими до затримок, комфортне користування можливе при затримці до 300 мс. Для перегляду відеофайлів високої якості затримки 120-200 мс є прийнятними. Онлайн ігри більш вибагливі до затримок, вони мусять складати до 70 мс. Для перегляду потокової відеотрансляції затримка не має перевищувати 40 мс.

2.5 Висновки з розділу 2

По мірі того, як розвиваються технології, що передають данні по телекомунікаційним мережам, ростуть і вимоги до каналів передачі даних. Особливо помітна тенденція до збільшення необхідної пропускної здатності. В даному розділі ми розглянули основні види трафіку, а саме вимоги, які пред'являються каналам при передачі такого трафіку.

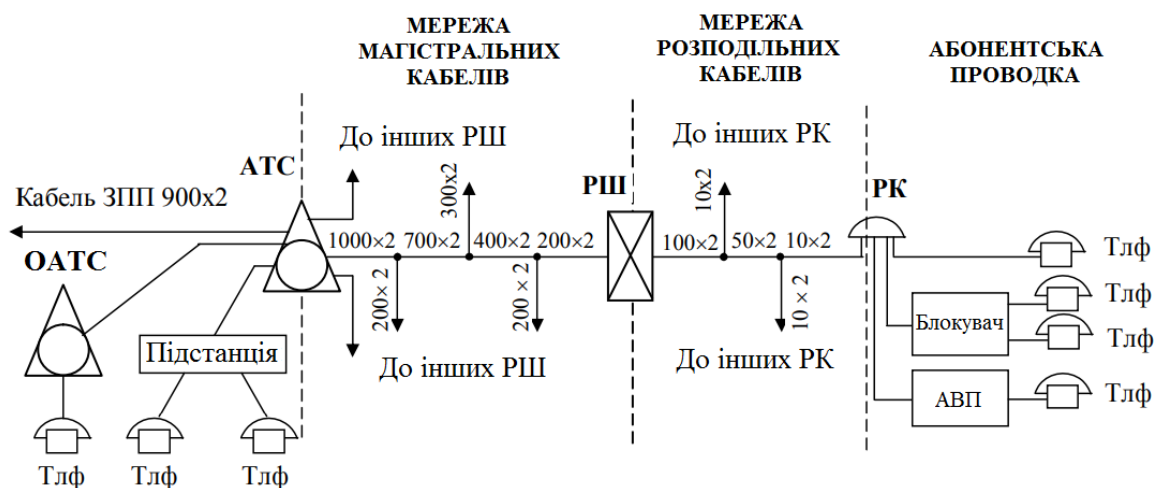
Визначено, який об'єм пропускної здатності необхідно забезпечити на каналі, наведені значення затримки, при яких можливе комфортне користування сервісом.

На основі приведених даних можливо судити, чи зможе певна xDSL-технологія забезпечити необхідні технічні параметри передачі даних при організації того чи іншого сервісу, та визначити їх область застосування.

3 ІНФРАСТРУКТУРА МІСЬКОЇ МЕРЕЖІ МІДНИХ КАБЕЛІВ І ЇЇ ВПЛИВ НА ПЕРЕДАЧУ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ

3.1 Структура міської кабельної мережі

Місцева мережа зв'язку включає в себе міську, сільську і комбіновану телефонні мережі [11,12]. Міська телефонна мережа (МТМ) складається з мереж абонентських ліній (АЛ) і сполучних ліній (СЛ). Мережа абонентських ліній будується *по* шафовій і безшафовій системам. Схеми побудови мережі АЛ по шафовій і безшафовій системам зображені на рисунку 3.1. При шафовій системі побудови АЛ (рис. 3.1, а) складається із сукупності ліній від автоматичної телефонної станції (АТС) до телефонного апарату і включає в себе магістральні і розподільні ділянки та абонентську проводку. Безшафова система побудови мережі АЛ (рис. 3.1, б) забезпечує велику гнучкість за рахунок паралельного включення кабелів. При цьому окремі пари кабелю включаються паралельно в декількох розподільних коробках.



АТС - автоматична телефонна станція, РШ - розподільна шафа, РК - розподільна коробка;
ОАТС - офісна АТС, АВП - абонентський високочастотний пристрій, ЗПЖ - зона прямого живлення

а)

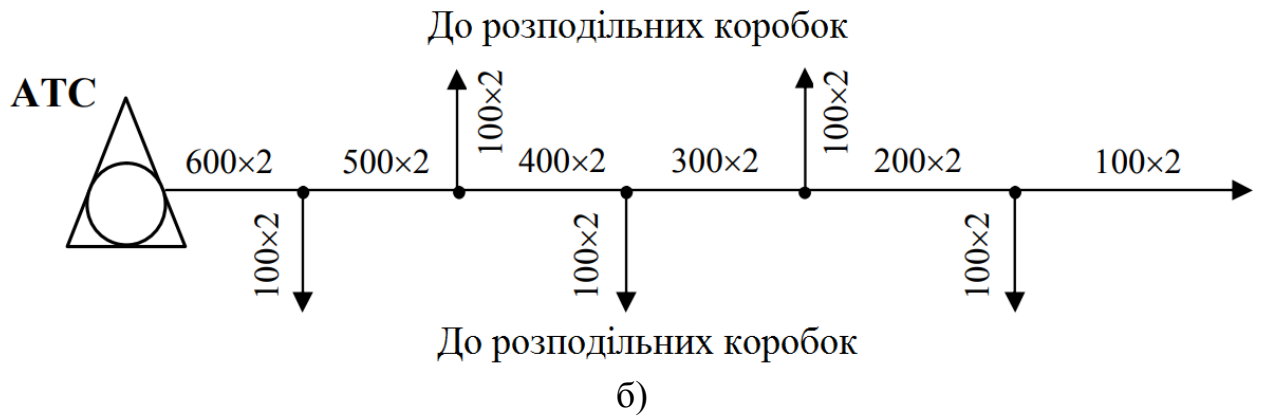


Рисунок 3.1 – Приклади схем шафової (а) і безшафової (б) систем побудови АЛ МТМ

При шафовій системі побудови мережі (рис. 3.1, а) від автоматичної телефонної станції (АТС) в різних напрямках виходять великі по ємності кабелі (від 1200 пар до 2400 пар), які в розгалужувальних муфтах діляться на кабелі меншої ємності. Ці кабелі разом з лінійним обладнанням складають магістральну мережу. Кабелі магістральної мережі включаються в розподільні шафи ємністю 1200*2 або 600*2. З розподільчих шаф виходять кабелі меншої ємності (50-100 пар), які розгалужуються в муфтах і підходять до розподільних коробок ємністю 10 пар. Ці кабелі разом з лінійним обладнанням складають розподільну мережу. Від розподільних коробок до телефонних апаратів абонентів прокладаються однопарні кабелі, які являють собою абонентську проводку. Навколо АТС зазвичай розташовується зона прямого живлення, яка має приблизно форму кола радіусом 300-500 м.

Всі телефонні апарати, розташовані в зоні прямого живлення, включаються в АТС за допомогою окремих кабелів через розподільні коробки (РК), минаючи розподільні шафи. В одному кабелі не повинні розміщуватися пари, призначені для обслуговування абонентів зони прямого живлення, і пари, призначені для обслуговування абонентів поза зоною прямого живлення. На відміну від розподільчої мережі та зони прямого живлення, кабелі магістральної мережі повинні міститися під надлишковим повітряним тиском, що забезпечує найкращі значення електричних

параметрів протягом тривалого періоду експлуатації. У кабельну шахту АТС від захисних смуг кросу подаються кабелі ємністю 100 пар, де вони з'єднуються з лінійними кабелями великої ємності (до 1200 пар і більше) в розгалужувальних муфтах. Лінійні кабелі виходять з шахти через станційний колодязь і розходяться за різними напрямками району по кабельній каналізації. Розподільні шафи встановлюються в житлових і адміністративних будівлях, на вулицях міста та обладнуються кабельними боксами 100*2. Магістральні кабелі в міру віддалення від АТС поблизу розподільних шаф послідовно розпаюються в розгалужувальних муфтах на кабелі ємністю 100 пар, які потім можуть послідовно розпаюватися в розгалужувальних муфтах на кабелі ємністю до 10 пар. Останні включаються в розподільні коробки, що встановлюються під кабельними стійками, на стінах приміщень і горищах. Від розподільних коробок прокладаються проводи однопарної абонентської проводки, які включаються в телефонні апарати, таксофони і іншу апаратуру, встановлену в квартирах і приміщеннях адміністративних будівель. Від кабельних ящиків повітряних телефонних ліній до будівель підвішуються дроти, які закінчуються абонентською проводкою і телефонним апаратом [1].

3.2 Аналіз факторів, що впливають на передачу цифрових сигналів по мідних кабелях

Складовою мережі доступу є абонентські лінії (АЛ), які будуються на використанні як низькочастотних, так і високочастотних кабелів. Швидкість передачі інформації по абонентській лінії залежить від значень електричних параметрів кабелів, з'єднувальних муфт, кросового обладнання АТС, розподільних шаф, коробок і ящиків, обладнання xDSL і т.д. Кабелем називають конструкцію, що складається з скручених в сердечник ізольованих жив, поверх якого розміщується оболонка для захисту від проникнення вологи і броньоване покриття.

До електричних параметрів передачі кабелів відносяться: електричний опір струмопровідних жил постійному струму $R_{ж}$, Ом/км; електричний опір ізоляції жил $R_{із}$, МОм*км, робоча (електрична) ємність C_0 нФ/км; коефіцієнт затухання α , дБ/км; коефіцієнт фази β , рад/км; модуль хвильового опору $|Z_v|$, Ом, і його фаза ϕ_v , град.; електричний опір ізоляції зовнішньої оболонки $R_{із.об}$ і шланга $R_{із.ш}$, МОм*км; перехідне затухання на ближньому кінці A_0 , дальньому кінці A_1 і захищеність на дальньому кінці A_3 , дБ; затухання неузгодженості $A_{нз}$ і затухання асиметрії $A_{ас}$, дБ.

Середні значення електричних параметрів передачі кабелів типу ТП приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Допустимі значення коефіцієнту затухання кабелів типу ТП на частотах 1,512 і 1024 кГц.

| Діаметр жил, мм | Частота, кГц | Коефіцієнт затухання, дБ/км, не більше | |
|-----------------|--------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| | | Кабель без гідрофобного наповнення | Кабель з гідрофобним наповненням |
| 0,32 | 1 | 2,4 | 2,5 |
| 0,4 | | 1,9 | 2,0 |
| 0,5 | | 1,5 | 1,6 |
| 0,64 | | 1,2 | 1,3 |
| 0,7 | | 1,1 | 1,2 |
| 0,9 | | 0,7 | 0,8 |
| 0,4 | 512 | 19,5 | 20,8 |
| 0,5 | | 16,7 | 18,0 |
| 0,4 | 1024 | 27,3 | 29,1 |
| 0,5 | | 23,4 | 25,2 |

Примітка. Коефіцієнт затухання – затухання синусоїдального сигналу при розповсюдженні по узгодженій на вході і виході парі довжиною 1 км.

Первинні параметри передачі кабелю залежать від частоти. Наприклад, активний опір пари кабелю при збільшенні частоти збільшується внаслідок впливу поверхневого ефекту, ефекту близькості і впливу сусідніх жил. Індуктивність пари кабелю при збільшенні частоти зменшується внаслідок того, що під впливом поверхневого ефекту зменшується внутрішня індуктивність, а зовнішня індуктивність від частоти не залежить. Робоча ємність пари кабелю від частоти не залежить. провідність ізоляції при збільшенні частоти зростає внаслідок збільшення втрат на поляризацію матеріалу ізоляції.

Вторинні параметри передачі кабелю визначаються первинними параметрами передачі і тому залежать від частоти. коефіцієнт загасання пари кабелю при збільшенні частоти збільшується внаслідок збільшення втрат за рахунок вихрових струмів в металевих жилах і втрат на поляризацію матеріалу ізоляції. Модуль хвильового опору пари кабелю при збільшенні частоти спочатку зменшується за рахунок зменшення внутрішньої індуктивності, а потім стає незалежним від частоти. Фаза хвильового опору при збільшенні частоти має негативний знак і наближається поступово до нуля в діапазоні високих частот.

Опір і робоча ємність пари прямо пропорційно залежать від довжини кабелю. Опір ізоляції залежить від довжини пари кабелю обернено пропорційно. Загасання залежить прямо пропорційно від довжини пари кабелю. Модуль і фаза хвильового опору від довжини пари кабелю не залежать.

Внаслідок процесу старіння всі електричні параметри передачі кабелю змінюються. Найбільшу залежність від терміну експлуатації мають опір ізоляції, робоча ємність і коефіцієнт загасання.

Взаємний вплив в кабелі виникає внаслідок електромагнітного зв'язку між парами. Рівень взаємних перешкод, що виникають всередині кабелю, визначається перехідним загасанням між парами.

Перехідне загасання - загасання синусоїдального сигналу при переході від пари що впливає до пари, що схильна до впливу.

Розрізняють перехідні загасання на ближньому кінці A_0 , на дальньому кінці A_1 і захищеність на далекому кінці A_3 .

На рис. 3.2 наведено приклад розміщення двох пар в кабелі. Літерами а і б позначені жили пар. Вертикальні штрихові лінії позначають два кінця кабелю.

Пара, до якої підключений генератор, є парою що впливає. Пара, до кінців якої підключені опори навантаження, є парою, схильною до впливу. Кінець кабелю, до пари якого підключений генератор, є ближнім кінцем. Кінець кабелю, до парак якого підключені тільки опори навантаження R_H , є дальнім кінцем. Опори навантаження R_H повинні бути узгоджені з хвильовим опором пар Z_B .



Рисунок 3.2 – Пояснення до перехідних затухань кабелю на ближньому кінці A_0 , на дальньому кінці A_1 і захищеності на дальньому кінці A_3

Перехідне загасання на ближньому кінці - загасання синусоїдального сигналу при переході з ближнього кінця пари, що впливає до ближнього кінця пари, на яку впливають, за умови узгодження пар на кінцях.

Величина перехідного загасання на ближньому кінці A_0 (NEXT), в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу P_{10} на ближньому кінці пари, що впливає до потужності перешкоди P_{20} на ближньому кінці пари, схильної до впливу:

$$A_0 = 10 \lg \left| P_{10} / P_{20} \right| \quad (3.1)$$

Перехідне загасання на дальньому кінці - загасання синусоїдального сигналу при переході від ближнього кінця пари, що впливає, до дальнього кінця пари, схильної до впливу, за умови узгодження пар на кінцях.

Величина перехідного загасання на дальньому кінці A_1 (FEXT), в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу P_{10} на ближньому кінці пари, що впливає, до потужності перешкоди P_{21} на дальньому кінці пари, схильної до впливу:

$$A_1 = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{21}} \right| \quad (3.2)$$

Захищеність між парами на дальньому кінці (захищеність) - загасання (перехідне) синусоїдального сигналу при переході з дальнього кінця пари, що впливає, до дальнього кінця пари, схильної до впливу, при умови узгодження пар на кінцях.

Захищеність між парами визначається як різниця між рівнем сигналу в кінці пари, що впливає і рівнем перешкоди в кінці пари, схильної до впливу.

Величина захищеності на дальньому кінці A_3 (ELFEXT), в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу P_{11} на дальньому кінці пари, що впливає, до потужності перешкоди P_{21} на дальньому кінці пари, схильної до впливу:

$$A_3 = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{21}} \right| \quad (3.3)$$

Перехідне загасання на дальньому кінці і захищеність на дальньому кінці пов'язані між собою власним загасанням пари, рівним добутку коефіцієнта загасання α на довжину кабелю l :

$$A_l = A_z + \alpha l \quad (3.4)$$

Розглянемо залежність перехідних затухань від довжини. Як показали вимірювання на АЛ, середнє значення перехідного затухання на ближньому кінці в багатопарних кабелях не залежить від довжини і визначається перехідним затуханням на ближньому кінці першої будівельної довжини.

Будівельна довжина кабелю - виготовлений на кабельному заводі відрізок кабелю певної довжини, намотаний на барабан.

Середні значення перехідного загасання на дальньому кінці і захищеності на дальньому кінці многопарного кабелю міської телефонної мережі залежать від частоти і довжини абонентської лінії і визначаються за допомогою таких формул:

$$A_{зАЛ} = A_{збд} - 10 * \lg(l/l_{бд}) \quad (3.5)$$

$$A_{lАЛ} = A_{зАЛ} + \alpha * l \quad (3.6)$$

де $A_{зАЛ}$ – захищеність на дальньому кінці абонентської лінії довжиною 1 км, дБ;

$A_{збд}$ – захищеність на дальньому кінці одної будівельної довжини кабелю, дБ;

$A_{lАЛ}$ – перехідне загасання на дальньому кінці абонентської лінії, дБ;

α - коефіцієнт загасання кабелю, дБ/км, на частоті f ;

$l_{бд}$ – протяжність будівельної довжини кабелю, км.

Аналіз вище наведених формул для $A_{зАЛ}$ і $A_{lАЛ}$ доводить, що при збільшенні довжини абонентської лінії захищеність на дальньому кінці зменшується, а перехідне загасання на дальньому кінці спочатку зменшується, а потім починає збільшуватися за рахунок збільшення власного загасання αl .

Розглянемо залежність загасання на ближньому кінці від частоти. Залежність середнього значення перехідного загасання між парами на ближньому кінці в кабелях типу ТП від частоти в діапазоні частот від 10 кГц до 2 МГц можна визначити за такою наближеною формулою:

$$A_0(f) = A_{01} - 15\lg(f) \quad (3.7)$$

де A_{01} – значення перехідного затушення на ближньому кінці на частоті 1 МГц;

f – частота, МГц.

Основною причиною зменшення перехідного загасання на ближньому кінці при збільшенні частоти є збільшення електромагнітних зв'язків між парами.

Розглянемо залежність перехідних затушень від взаємного розташування пар в кабелі з повивною побудовою сердечника. Середні значення і середньоквадратичні відхилення перехідного загасання на ближньому кінці кабелів типу ТП з повивної побудовою сердечника на частоті 1 МГц наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Середнє значення і середньоквадратичне відхилення перехідного затушення на ближньому кінці кабелів типу ТП з повивною побудовою сердечника на частоті 1 МГц.

| Положення пар в сердечнику кабелю | Середнє значення перехідного затушення на ближньому кінці, дБ | Середньоквадратичне відхилення, дБ |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Суміжні в повиві | 53 | 4,7 |
| Через одну пару в повиві | 65 | 5,5 |

Продовження таблиці 3.2.

| 1 | 2 | 3 |
|----------------------------|------|-----|
| Через дві пари в повиві | 73 | 7,4 |
| Через три пари в повиві | 74 | 7,2 |
| Через чотири пари в повиві | 75 | 5,2 |
| У суміжних повивах | 68 | 5,6 |
| Через один повив | 75 | 6,3 |
| Через два повива | 79 | 6,8 |
| Через три повива | 81 | 6,2 |
| Через чотири повива | 81,5 | 6,9 |

Середнє значення захищеності на дальньому кінці кабелів типу ТП довжиною 280 м між парами, розташованими поруч всередині одного повиву, на частотах понад 10 кГц приблизно визначається за допомогою наступного виразу:

$$A_{з\text{сд}}(f) = 105 - 15 * \lg(f) \quad (3.8)$$

де f – частота, кГц.

У разі, якщо протяжність будівельної довжини кабелю $l_{\text{сд}}$ відрізняється від 280 м, то величина захищеності на далекому кінці змінюється на величину, рівну мінус $10\lg*(l_{\text{сд}}/280)$.

Величина захищеності $A_{з\text{сд1}}$ на дальньому кінці між не поруч розташованими парами (між несусідніми парами одного повиву або між парами різних повивів) однієї будівельної довжини кабелю визначається за формулою:

$$A_{з\text{сд1}} = A_{з\text{сд}} + \delta A_{з} \quad (3.9)$$

де δA_3 - приріст захищеності за рахунок взаємного віддалення впливаючої і схильною до впливу пар.

Розглянемо залежність перехідних затухань від взаємного розташування пар в кабелі з пучковою побудовою сердечника. Середні значення і середньоквадратичні відхилення перехідного загасання на ближньому кінці кабелів типу ТП з пучковою побудовою сердечника на частоті 1 МГц наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Середнє значення і середньоквадратичні відхилення перехідного затухання на ближньому кінці кабелів типу ТП з пучковою побудовою сердечника на частоті 1 МГц.

| Положення пар в сердечнику кабелю | Середнє значення перехідного затухання на ближньому кінці, дБ | Середньоквадратичне відхилення, дБ |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Всередині елементарного пучка | 65 | 8,1 |
| В суміжних елементарних пучках | 69 | 7,2 |
| Через один елементарний пучок | 84 | 6,5 |
| Через два елементарних пучка | 88 | 5,2 |
| В елементарних пучках суміжних повивів | 75 | 7,7 |

Середнє значення захищеності на дальньому кінці будівельної довжини багатопарного кабелю типу ТП довжиною 280 м між поруч розташованими

парами (всередині одного елементарного пучка) на частотах понад 10 кГц визначається за допомогою наступного виразу:

$$A_{з\text{ сд}}(f) = 125 - 20 * \lg(f) \quad (3.10)$$

де f – частота, кГц.

Слід зазначити, що в разі, якщо протяжність будівельної довжини кабелю $l_{\text{сд}}$ відрізняється від 280 м, величина захищеності на дальньому кінці змінюється на величину, рівну мінус $10\lg(l_{\text{сд}}/280)$.

Величина захищеності $A_{з\text{ сд1}}$ на дальньому кінці між не поруч розташованими парами (в різних елементарних пучках одного повиву або сердечника) однієї будівельної довжини кабелю визначається за формулою:

$$A_{з\text{ сд1}} = A_{з\text{ сд}} + \delta A_{з} \quad (3.11)$$

де $\delta A_{з}$ - приріст захищеності за рахунок взаємного віддалення впливаючої і схильної до впливу пар.

Аналіз результатів, наведених у таблиці 3.3 доводить, що при збільшенні віддалення пар взаємний вплив між ними зменшується.

Розглянемо фактори додаткового впливу між парами кабелю. Недостатня однорідність, симетрія кабельної пари, а також неузгодженість кабельних пар з обладнанням xDSL є джерелами додаткового впливу як зовнішніх, так і перехідних перешкод. Для їх оцінки використовують електричні параметри - загасання асиметрії та неузгодженості.

Загасання асиметрії - загасання синусоїдального сигналу при переході зі штучного ланцюга, утвореного жилами кабелю і «землею», в робочу пару кабелю; визначається як 20 десяткових логарифмів відношення напруги на виході генератора, підключеного між середньою точкою на вході робочої пари і землею (екраном), до напруги, отриманої між середньою точкою на виході робочої пари і землею (екраном).

В діапазоні частот 8 - 800 кГц величина загасання асиметрії $A_{\text{ас}}$ повинна бути не менше

$$A_{ac} \geq 44 - 5 \lg \left(\frac{f}{80} \right) \quad (3.12)$$

де f – частота, кГц.

Загасання неузгодженості - параметр, який характеризує ступінь неузгодженості хвильового опору пари з опором навантаження, і показує, у скільки разів відбита від навантаження потужність менше падаючої; визначається як 20 десяткових логарифмів відносини модуля суми вхідного (вихідного) опору пари і опору навантаження до модуля різниці цих опорів.

Мінімальна величина загасання неузгодженості пари кабелю в діапазоні частот 50 - 400 кГц становить не менше 10 дБ при внутрішньому опорі вимірювального приладу 100

3.3 Висновки з розділу 3

В даному розділі ми детально розглянули структуру міської кабельної мережі, показали різницю між шафовою та безшафовою системою. Розуміння структури міської кабельної мережі допомагає зрозуміти, під які умови підлаштовувалось xDSL-обладнання, та які проблеми при цьому необхідно було вирішити. Показали залежність параметрів передачі та перехідних загасань від характеристик лінії, оскільки технології xDSL в першу чергу орієнтовані на використання уже існуючих ліній.

4 ТЕХНІЧНІ ПРИНЦИПИ ТА СТАНДАРТИ XDSL-ТЕХНОЛОГІЙ. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

4.1 Технічні принципи

4.1.1 Застосовувані лінійні сигнали і їх порівняння

Розглянемо лінійні коди, що застосовуються в сімействі технологій xDSL:

- 2B1Q;
- CAP;
- TC-PAM
- DMT

Алгоритм лінійного кодування 2B1Q (2 Binary 1 Quandary) був первинно розроблений в якості протоколу фізичного рівня в мережах ISDN. Алгоритм є варіантом реалізації амплітудно-імпульсної модуляції з чотирма рівнями вихідного навантаження без повернення до нульового рівня.

Для того, щоб сформувати лінійний код вхідний потік інформації поділяється на кодові групи по два біти кожна. Позитивна полярність означає, що перший біт рівний одиниці, а негативна нулю. Другий біт інтерпретується в залежності від рівня потужності: низьких рівнях напруги в одиницю при високих рівнях як нуль.

Тому після відповідного кодування за правилами алгоритму 2B1Q-сигнал представляє послідовність, що змінюється скачкообразно. Схематичне зображення лінійного 2B1Q-сигналу при передачі довільної послідовності показано на рис. 4.1.

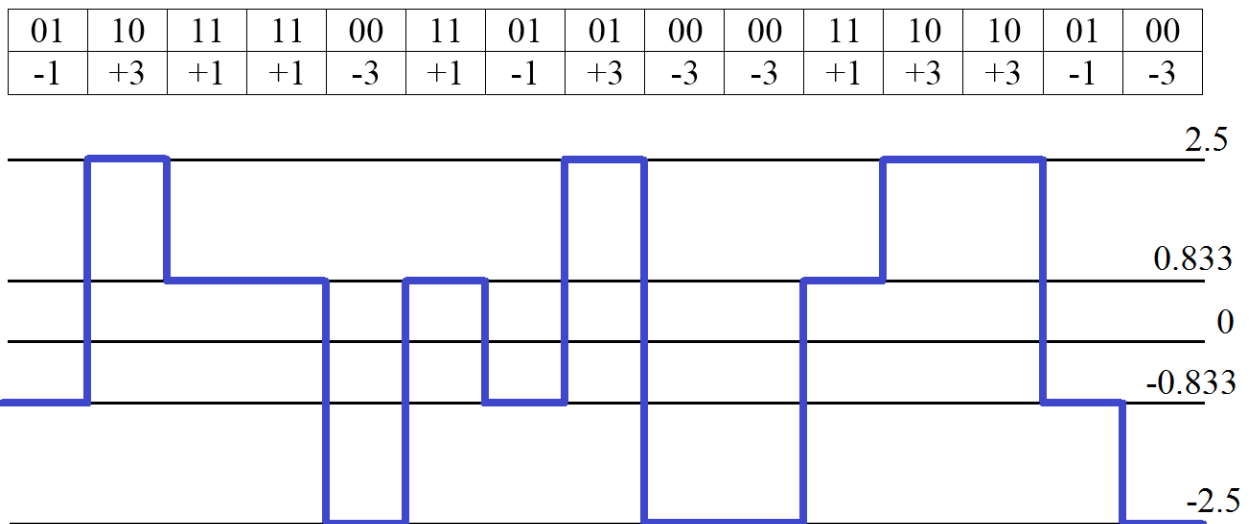


Рисунок 4.1 – Лінійний сигнал 2B1Q

Системи передачі даних, що використовують такий алгоритм лінійного кодування, можуть забезпечити передачу даних на швидкості від 64 Кбіт/с до 2320 Кбіт/с. Величина кроку зміни інформаційної швидкості не визначена нормативними документами, тому, в різних реалізаціях ця величина приймає різні значення.

Крім основного застосування в мережах ISDN алгоритм лінійного кодування 2B1Q знайшов своє застосування в пристроях xDSL, а саме з симетричними швидкостями передачі даних - HDSL і SDSL. Враховуючи той факт, що переданий і прийнятий сигнали не можуть рознестись в різні частотні області (через особливості спектру сигналу), обладнання SDSL повинне використовувати механізм придушення ехо переданого сигналу на прийомній стороні.

Головною перевагою даного алгоритму є проста і дешева реалізація. Не менш важливим фактором є велике число регламентуючих документів (в тому числі специфікація ANSI T 1.601-1999).

Щодо недоліків цього методу кодування можна віднести невисоку спектральну ефективність, а тому і обмежену можливість передачі інформаційного сигналу по зашумленим лініям з великим загасанням. Можливості використання амплітудної модуляції в цілому не дуже високі,

оскільки в даному випадку число рівнів квантування зростає зі швидкістю $2N$, де N -число переданих за період модульованого сигналу розрядів, що призводить до різкого зменшення теоретично досяжного співвідношення сигнал/шум. Окрім того, спектр амплітудно-імпульсного модульованого сигналу є нескінченним і його максимум припадає на діапазон звукових частот.

Незважаючи на те, що перераховані вище фактори, безсумнівно, обмежують застосування цього типу лінійного кодування в перспективних xDSL системах з інтеграцією послуг, безперечні переваги алгоритму 2B1Q дозволять досить ефективно його застосовувати для побудови дешевих симетричних систем [32].

Алгоритм амплітудно-фазової модуляції з придушенням несучої Carrier less Amplitude modulation / Phase modulation (CAP) є одним з найпопулярніших в даний час алгоритмів, що використовується на лініях. Він є різновидом QAM-модуляції, особливістю є те, що інформаційний сигнал спеціально обробляється перед тим, як відправляється на лінію. В процесі такої обробки сигналу та частина спектру, що відповідає частоті несучої, виключається. На приймачі після прийому інформаційного сигналу в першу чергу відновлює частоту несучої, а вже після цього відбувається відновлення інформаційного сигналу. Подібні перетворення спектру виконуються з тою ціллю, щоб зменшити неінформаційну складову спектру, та відповідно забезпечити більшу дальність передачі сигналу. Також в результаті зменшується рівень перехресних завад в сигналах, що одночасно передаються в одному кабелі.

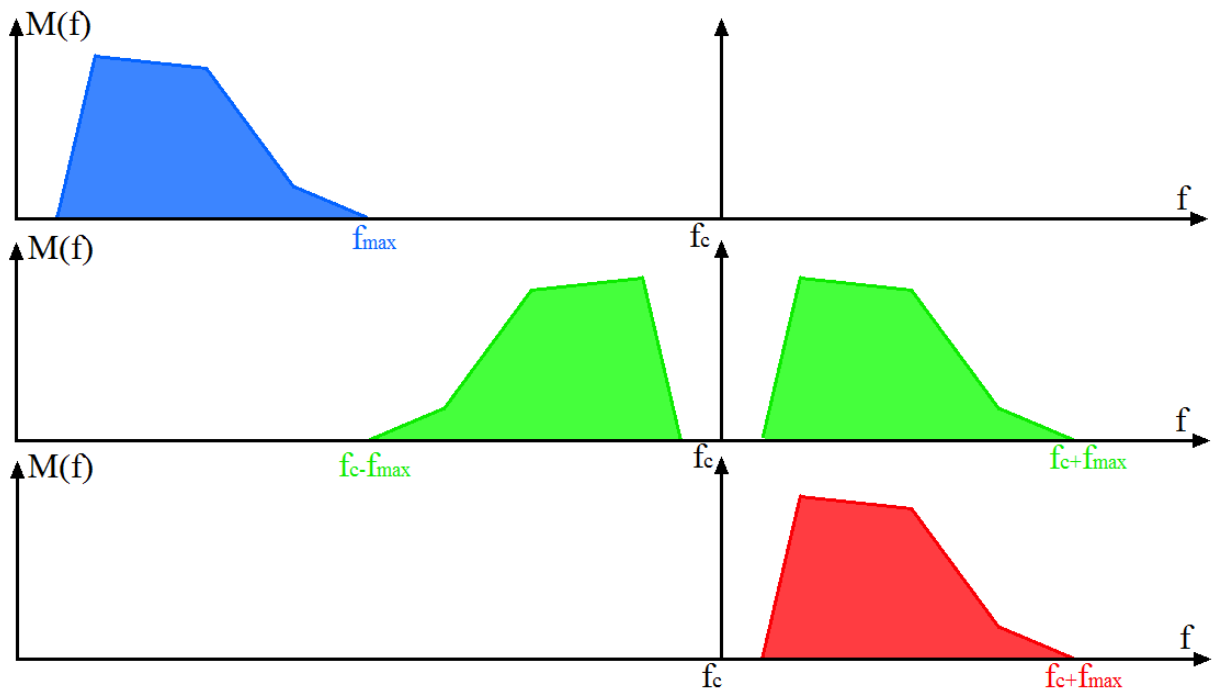


Рисунок 4.2 – Формування спектру САР-модульованого сигналу.

Синім кольором на рис. 4.2 відзначений спектр корисного сигналу що передається. Максимальна частота цього сигналу має значення f_{\max} . Частота модулюючого коливання - носія має значення f_c . Після виконання гармонійної амплітудної модуляції спектр корисного сигналу переноситься в область частоти f_c і набуває дзеркальні складові. На малюнку цей спектр позначений зеленим кольором. Щоб забезпечити відновлення сигналу що передається на прийомному кінці досить передавати лише одну дзеркальну компоненту. Гармоніка з частотою f_c теж являється компонентом спектра модульованого сигналу, але можна обійтись без неї при відновленні сигналу. Амплітуда цієї гармоніки передає інформацію про рівень постійної складової сигналу, що передається. В силу цього ця гармоніка являється не в повній мірі інформативною, тому втрата її ніяк не вплине на якість відновленого сигналу на прийомі. Не дивлячись на те, що виключення гармоніки f_c з сигналу що передається призводить до певних складнощів при відновленні сигналу на прийомі, ця процедура повністю себе виправдовує, так як дозволяє значно знизити рівень неінформаційної складової сигналу, що

передається по лінії. Червоним кольором на наведеному вище малюнку демонструється спектр модульованого колювання, який сформований відповідно до принципів алгоритму CAP.

Таким чином, принципи формування лінійного коду алгоритму CAP відповідають основним принципам формування лінійного коду QAM. Відмінності зазначених алгоритмів полягають у включенні додаткових процедур, які використовуються для формування та відновлення спектра CAP-модульованого сигналу.

Оскільки алгоритм амплітудно-фазової модуляції з придушенням несучої є, по суті, алгоритмом типу QAM, йому властиві всі позитивні якості, які притаманні цьому класу алгоритмів: відносна простота реалізації та висока спектральна ефективність. Безсумнівною перевагою власне алгоритму CAP є висока енергетична ефективність сформованого сигналу. Саме цей алгоритм теоретично здатний забезпечити передачу сигналу на найбільшій відстані. Всі ці корисні якості алгоритму модуляції CAP дозволяють застосовувати його для побудови ефективних і економічних приймально-передавальних пристроїв широкого спектра технологій DSL: від SDSL до VDSL.

Основним недоліком цього методу є відсутність документації, що стандартизує процедури, відповідно до яких виконується перетворення сигналу. Відсутність цієї документації пояснюється низкою політичних і економічних причин. Однією з причин, які призводять до стримування впровадження цієї технології, є сильна підтримка альтернативної по відношенню до CAP технології DMT, яку надає комітет T1E1 ANSI. Іншою причиною є недостатня гнучкість ліцензійної політики, яку проводить власник патенту на CAP компанія GlobeSpan. Ці причини, які не можна назвати технічними в водночас є досить вагомими, для того, щоб стримувати процеси впровадження алгоритму CAP в перспективні системи DSL.

ТС-РАМ розшифровується як Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation (імпульсна амплітудна модуляція з трелліс-кодуванням) 16-рівнева модуляція РАМ (Pulse Amplitude Modulation). Обраний спосіб модуляції РАМ-16 забезпечує передачу трьох біт корисної інформації і додаткового біта (кодування для захисту від помилок) в одному символі. Вище описана 2В1Q - це теж модуляція РАМ, але чотирьохрівнева. Використання решітчатих (Trellis) кодів за рахунок введення надмірності переданих даних дозволили знизити ймовірність помилок. Результуюча система отримала назву ТС-РАМ (Trellis coded РАМ).

Модуляція ТС-РАМ відрізняється від широко застосовуваних видів модуляції 2В1Q і САР поліпшеною спектральною і електромагнітною сумісністю з сигналами, що найчастіше передаються по багатопарним телефонним дротам, включаючи аналогову телефонію, аналогові модеми, ISDN, і ін. Крім цього, модуляція ТС-РАМ забезпечує дальність передачі приблизно на 10% більше, ніж САР, і на 20% більше, ніж 2В1Q. Відрізняється підвищеною стійкістю до перешкод в лінії, і, отже, призводить до збільшення дальності роботи модемів без застосування додаткових повторювачів.

Технологія ТС-РАМ лежить в основі стандарту - G.shdsl. Ця технологія забезпечує вибір швидкості в діапазоні від 144 кбіт/с до 2,3 Мбіт/с з кроком в 8 кбіт/сек, володіє більш вузьким частотним спектром, ніж 2В1Q і САР. Цим забезпечується більша дальність передачі і електромагнітна сумісність з іншими DSL-технологіями (ISDN, ADSL, G.lite).

Кодування ТС-РАМ має найкращі на сьогоднішній день характеристики дальності і електромагнітної сумісності при роботі по однопарним абонентським лініям. Суть даного методу кодування складається в збільшенні числа рівнів з 4 до 16 і використанні спеціального механізму корекції помилок.

Лінійні процесори з ТС-РАМ використовуються для створення систем передачі між обладнанням мультиплексування, маршрутизації і крос комутації в мережах різного призначення, а саме:

- при організації каналів Е1 між АТС, базовими станціями, устаткуванням абонентського виносу, TDM-мультиплексуванню
- при організації каналів високої швидкості зв'язку в мережах передачі даних та з'єднання вузлів доступу Internet-провайдерів;
- для об'єднання розподілених сегментів IP і IPX-мереж і т.д.

Істотне обмеження спектра сигналу, який передається в лінію в порівнянні з 2B1Q, як в області високих, так і низьких частот пояснює основні переваги устаткування, що використовує модуляцію ТС-РАМ:

- підвищення дальності роботи, обумовлене тим, що більш низькочастотний (в порівнянні з 2B1Q) сигнал менше послаблюється кабельною лінією;
- завдяки відсутності в спектрі високочастотних складових, забезпечується нечутливість до високочастотних і імпульсних шумів, радіоінтерференції, значно знижується рівень перехресних наведень;
- відсутність взаємовпливу в низькочастотній частині спектра, що традиційно використовується для аналогової передачі телефонних розмов і сигналізації. Вихідна потужність в 5 разів нижче ніж у 2B1Q (1-3 мВт);
- нечутливість до низькочастотних наведень від силових установок і електричних мереж.

Переваги обладнання передачі, що використовує ТС-РАМ кодування сигналу, забезпечують:

- збільшення кількості каналів, організованих на тих же парах на тій же відстані в 3 рази;

- висока перешкодозахищеність при роботі по повітряних лініях.

Алгоритм DMT побудований за принципово іншою, ніж у наведених вище алгоритмах, схемою. На відміну від алгоритмів QAM, даний алгоритм використовує не одну, а групу частот несучих коливань. при використанні цього алгоритму модуляції весь розрахунковий частотний діапазон лінії ділиться на кілька ділянок шириною по 4,3125 кГц. Кожен з цих ділянок використовується для організації незалежного каналу передачі даних. На рисунку 4.3 представлений розподіл спектру сигналу стандарту G.DMT.

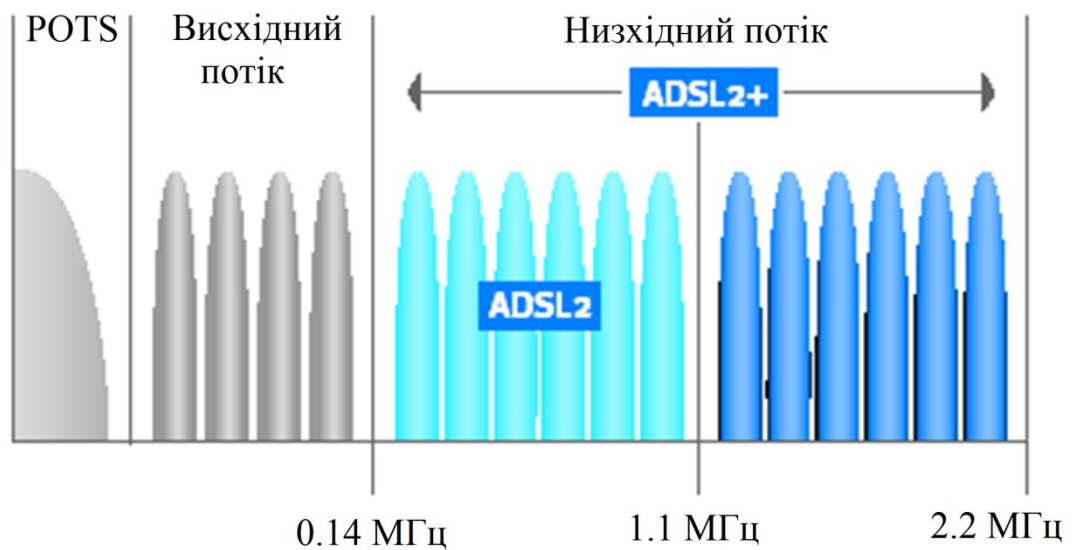


Рисунок 4.3 – Спектр сигналу стандарту G.DMT

Передавач в процесі перевірки лінії на основі рівнів перешкод для кожного каналу обирає відповідну модуляційну схему. У випадку, коли канал «чистий», тобто з малим рівнем шумів, може застосовуватись багатопозиційна модуляція, наприклад QAM 64, а у випадку, коли на каналі діє велика кількість шумів можна обрати більш просту модуляцію, як наприклад QPSK. Зрозуміло, що такий механізм вибору модуляції дозволяє найточніше узгоджувати параметри лінії, по якій сигнал буде передаватись, з параметрами модульованого сигналу. Під час передачі інформація розділяється пропорційно пропускній здатності між незалежними каналами, а

приймач виконує демультимплексування та відновлює вихідний інформаційний потік.

Алгоритм DMT є наступним розвитком ідеї, яка була покладена в основу алгоритмів QAM. В силу цього, він, безумовно, здатний забезпечити високу швидкість та надійність передачі даних. Також до переваг цього алгоритму, безумовно, відносяться оперативна і точна адаптації приймально-передавальних пристроїв до характеристик лінії і практично повсемісне визнання алгоритму стандартизуючими організаціями.

До недоліків алгоритму DMT можна віднести його громіздкість і недостатню технологічність. Алгоритм DMT є найбільш складним для апаратної реалізації серед всіх алгоритмів, що в даний час використовуються при формування лінійного коду пристроїв DSL. У той же час, дискусії про те, наскільки виправдана ця складність і наскільки здатність до адаптації цього алгоритму відповідає характеристикам реальних ліній, після затвердження DMT в якості основного алгоритму лінійного кодування стандартів ANSI для ADSL та VDSL навряд чи доцільні.

4.1.2 Передспотворення лінійного сигналу для компенсації міжсимвольної інтерференції

Лінія затримки забезпечує отримання копій сигналу зсунутого на тривалість інформаційного символу. Коефіцієнти відводів реєстра визначаються приймальною стороною шляхом вимірювання АЧХ в процесі ініціалізації лінії і передаються в сторону передавача. Суматор складає копії сигналів з урахуванням вагових коефіцієнтів. Отриманим сумарним сигналом вносяться необхідні лінійні спотворення в сигнал, що передається, що призводить до мінімізації на прийомі міжсимвольних перешкод. Пристрій Мод нормує сигнал по рівню. Узагальнена структурна схема лінії затримки зображена на рис. 4.4.

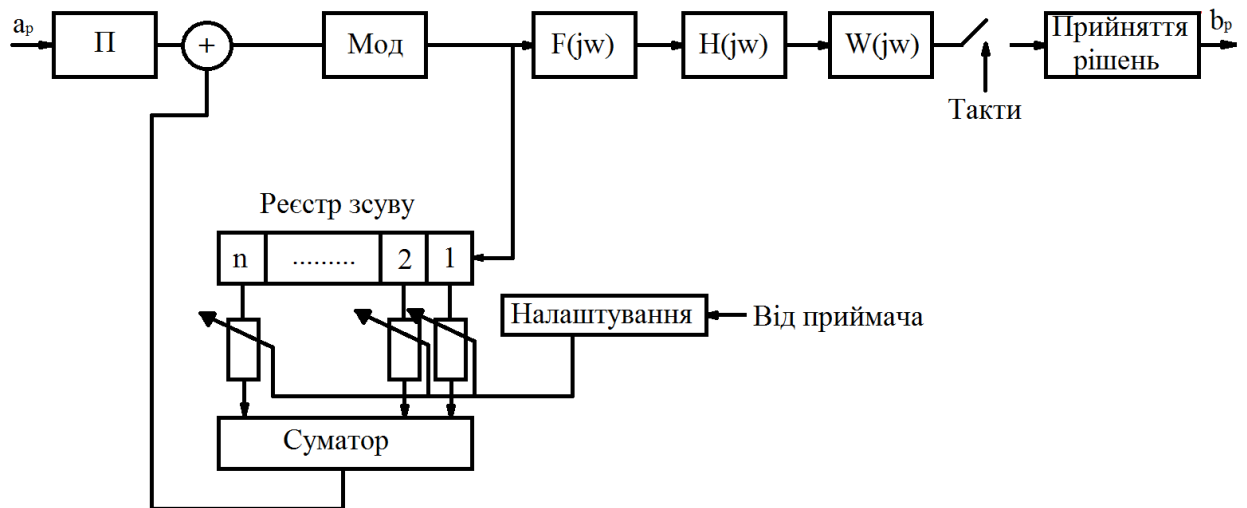


Рисунок 4.4 – Узагальнена структура коректора

4.1.3 Завадостійке кодування

Завадостійкі коди – один з найбільш ефективних засобів забезпечення високої надійності як при зберіганні, так і при передачі дискретної інформації. Створено спеціальну теорію завадостійкості кодування, що швидко розвивається останнім часом. К. Шеннон сформулював теорему для випадку передачі дискретної інформації з каналу із завадами, яка стверджує, що ймовірність помилкового декодування прийнятих сигналів може бути забезпечена як завгодно малою шляхом вибору відповідного способу кодування сигналів.

Під завадостійкими кодами розуміють коди, що дозволяють виявляти або виявляти і виправляти помилки, які виникають у результаті впливу завад. Завадостійкість кодування забезпечується за рахунок введення надмірності в кодові комбінації, тобто за рахунок того, що не всі символи в кодових комбінаціях використовуються для передачі інформації. Всі завадостійкі коди можна розділити на два основних класи: блокові і неперервні (рекуррентні або ланцюгові).

У блокових кодах кожному повідомленню (або елементу повідомлення) відповідає кодова комбінація (блок) із певної кількості

сигналів. Блоки кодують і декодують окремо. Блокові коди можуть бути рівномірними, коли довжина кодових комбінацій n постійна, або нерівномірними, коли n мінлива. Нерівномірні завадостійкі коди не одержали практичного застосування через складність їх технічної реалізації. Як блокові, так і неперервні коди в залежності від методів внесення надмірності розділяються на роздільні і нероздільні. У роздільних кодах чітко розмежована роль окремих символів. Одні символи є інформаційними, інші є перевірочними і служать для виявлення і виправлення помилок. Роздільні блокові коди називаються зазвичай n -кодами, де n – довжина кодових комбінацій, k – число інформаційних символів у комбінаціях.

Нероздільні коди не мають чіткого розділення кодової комбінації на інформаційні і перевірочні символи. Роздільні блокові коди розділяються, у свою чергу, на несистематичні і систематичні. Більшість відомих роздільних кодів складають систематичні коди. У цих кодів перевірочні символи визначаються в результаті проведення лінійних операцій над певними інформаційними символами. Для випадку двійкових кодів кожний перевірочний символ вибирається таким, щоб його сума за модулем два з певними інформаційними символами стала рівною нулю. Декодування зводиться до перевірки на парність певних груп символів. У результаті таких перевірок дається інформація про наявність помилок, а в разі потреби - про позицію символів, де є помилки. [32]

4.1.4 Перемежовування символів

В якості внутрішнього коду в системі передачі xDSL використовуються згорткові коди з алгоритмом декодування Вітербі. Однак помилки на виході декодера Вітербо зазвичай групуються в пакети, так що помилки в послідовних символах, що надходять на декодер коду Ріда-Соломона, будуть корельовані. Це знижує ефективність зовнішнього кодування, тому

застосовується перемежування символів в передаючій послідовності на передачі і відновлення вихідного порядку проходження сигналів на приймальній стороні. У такому випадку пачки помилок, що з'явилися в прийнятій послідовності сигналів після відновлення порядку проходження сигналів розподіляються рівномірно по прийнятому кодовому блоку. Перемежування має бути таким, щоб ніякі два символи на виході декодера Вітербо, відстань між якими менше глибини перемежування, не належали одному кодовому слову Ріда-Соломона.

В основному застосовується два типи перемежування: блочне перемежування і згорткове. Блочне перемежування передаючих двійкових символів (бітів) виконується за правилом, що проілюстроване на рисунку 4.5. Поступаючи на вхід блоку перемежування двійкові символи передаючого блоку записуються в порядку надходження построчно в таблицю розмірністю $n \times b$, де n - число рядків таблиці, b - число стовпців, а число $n \times b$ дорівнює кількості символів в блоці.

Рисунок 4.5 ілюструє приклад блочного перемежування з глибиною перемежування $n = 3$ і проміжком перемежування $b = 7$.



Рисунок 4.5 – Ілюстрація блочного перемежування з глибиною перемежування $n=3$ і проміжком перемежування $b=7$

Числа в таблиці означають порядок, в якому передані символи надходять на вхід блоку перемежування. Таким чином, символи записуються в рядки, а зчитуються вони по стовпцях. Це означає, що порядок бітів, що

надходять в канал зв'язку, буде наступним: 1, 8, 15, 2, 9, 16, 3, 10, 17, Рисунок 4.6 ілюструє операцію, зворотну блочному перемежуванню, при $n = 3$ і $b = 7$.

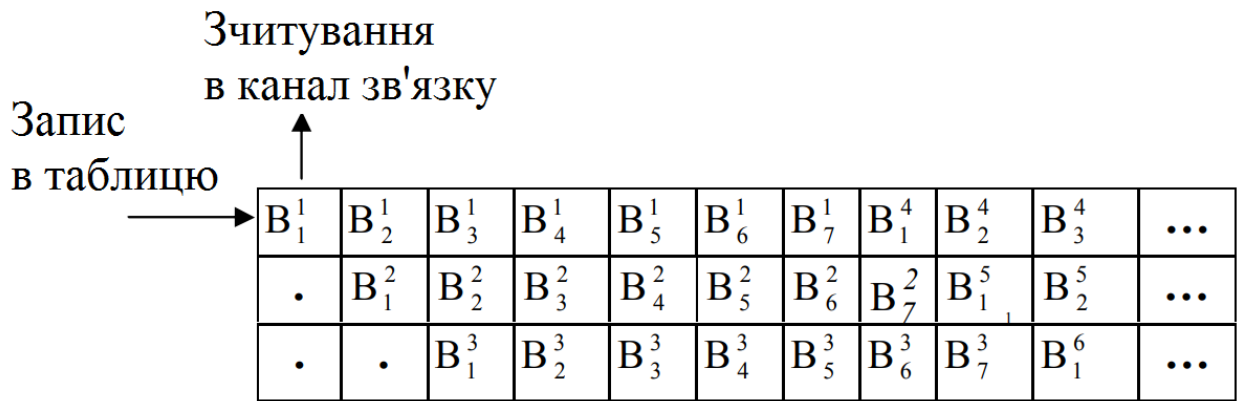
В цьому випадку біти, що прийшли з каналу, записуються в таблицю по стовпчиках, а зчитуються по рядках. Порядок бітів в рядках тепер буде відповідати вихідному, і біти в цьому порядку будуть зчитуватися з таблиці і надходити на блок декодера.



Рисунок 4.6 – Ілюстрація зворотної операції блочного перемежування

Перемежування з параметрами $n = 3$ та $b = 7$ може використовуватися на каналі де довжина послідовностей помилок не більше трьох бітів. В такому випадку послідовність трьох підряд помилок на виході рівномірно розподіляється по прийнятому блоку, і в такому випадку помилки ефективно виправляються кодом. Але в реальних каналах кількість помилок в одній пачці зазвичай перевищує три, тому на практиці використовується перемежування з великими значеннями n і b . Платою за виправлення помилок в каналі є затримка в процесі передачі інформації, яка є рівною $2nb$ біт, яка строго нормується, що вимагає компромісу між величинами затримки, що є допустимою, та допустимої ймовірності помилок.

З цієї точки зору згорткове перемежування є більш ефективним способом боротьби з групуванням помилок, ніж блокове, по вимогам до пам'яті і по величині затримки. Рисунок 4.7 ілюструє згорткове перемежування з розміром кодового слова $b = 7$ і глибиною $n = 3$.

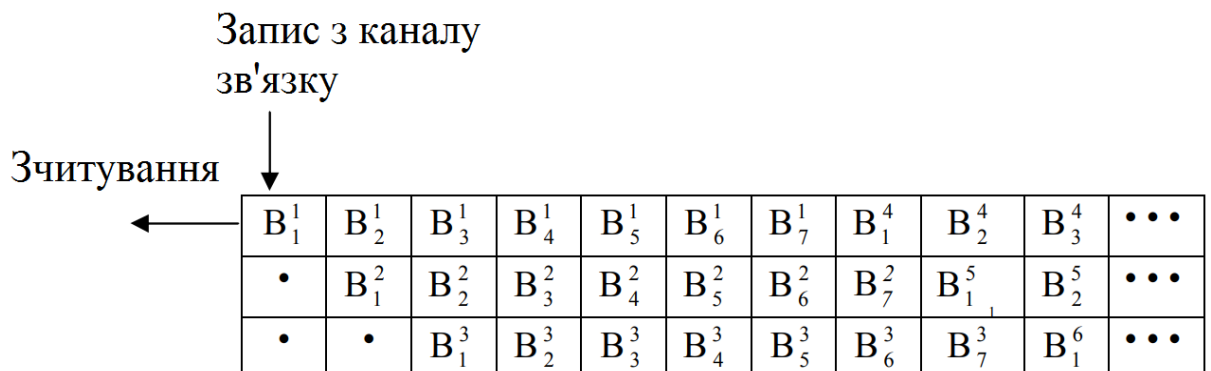


• - від попередніх кодових слів

Рисунок 4.7 - Ілюстрація згорткового перемешування з розміром кодового слова $b = 7$ і глибиною $n = 3$.

У цьому прикладі верхній індекс біта V являє собою номер кодового слова, якому V належить, нижній індекс - номер біта всередині кодового слова. Кодові слова знову записуються по рядках і зчитуються за стовпцями. Різниця між цією схемою і схемою блокового перемешування полягає в тому, що при згортковому перемешуванні кодові слова починаються не в одному і тому ж стовпці, як це відбувається при блочному перемешуванні, а в різних. До того ж рядки не мають кінця. Глибина і довжина перемешування визначають, куди буде записуватися наступне кодове слово - в наступний рядок або верхній рядок.

Рисунок 4.8 ілюструє операцію, зворотну згортковому перемешуванню, здійснювану в приймальному.



• - від попередніх кодових слів

Рисунок 4.8 – Ілюстрація зворотної операції згорткового перемешування

Тут біти записуються за стовпцями і зчитуються по рядках, після чого надходять на блок завадостійкого кодування. при зворотному згортковому перемежуванню з кожного рядка таблиці спочатку зчитується тільки одне кодове слово, а потім те ж саме відбувається в наступному рядку. Це здійснюється до тих пір, поки не зчитується кодове слово з останнього рядка таблиці. Після цього знову відбувається зчитування першого рядка, починаючи з першого, ще не зчитаного перед цим, біта.

Згорткове перемежування може розподіляти кодове слово довжини n по інтервалу nb , вносячи затримку тривалістю $(n - 1) b$ бітів.

Відзначимо, що розглянуті приклади перемежування оперують бітами (глибина і розмір кодового слова виражаються в бітах). Однак багато схем кодування працюють на рівні байтів (наприклад, коди Ріда - Соломона, діючі в $GF(256)$) або взагалі на рівні символів. Природно, що схеми перемежування, які застосовуються в комплексі з працюючими на байтовому або символьному рівні кодами, зазвичай функціонують також на рівні байтів або символів. Наприклад, якщо взяти розмір кодового слова рівним семи байтам, то перемежування відбуватиметься на рівні байтів, а затримка, що вноситься згортковим перемежуванням, становитиме nb байтів.

Слід зауважити, що можливі й інші типи перемежування, наприклад псевдовипадкове перемежування.

4.1.5 Скремблювання сигналу

У більшості систем передачі використовується скремблювання переданого двійкового сигналу. Скремблювання - це перетворення сигналу без внесення надлишковості, що додає йому властивості псевдовипадкової послідовності. Скремблювання застосовується для двох основних цілей. По-перше, воно забезпечує незалежність спектральної щільності потужності сигналу на виході передавача від переданої інформації, що є важливим для

запобігання спотворень сигналів через перевантаження каналу зв'язку і виконання вимог електромагнітної сумісності різних радіоелектронних систем. По-друге, скремблювання виключає наявність в прийнятому сигналі довгих послідовностей одиниць або нулів, що є умовою для нормальної роботи більшості алгоритмів адаптації систем автоматичного регулювання приймача системи передачі. Скремблювання здійснюється в передавачі шляхом безнадлишкового лінійного кодування переданої послідовності двійкових сигналів в результаті проходження її через пристрій, який називається скремблер. Приклад скремблера наведено на рис. 4.9.

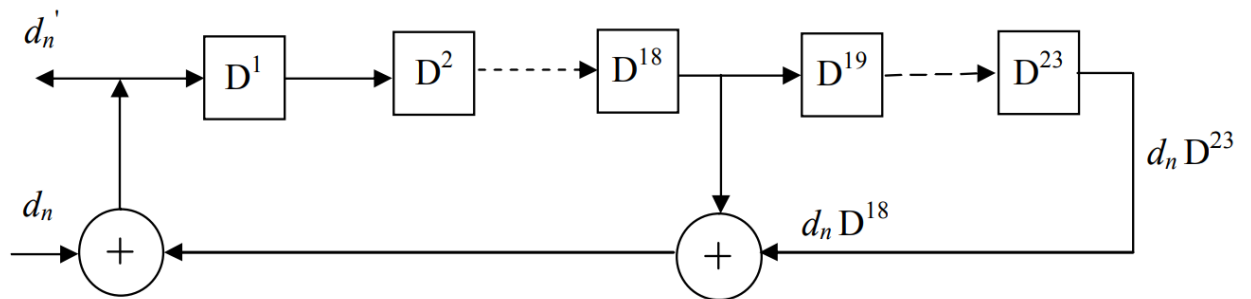


Рисунок 4.9 – Скремблер:

\oplus - складання по модулю 2; D – оператор затримки

Робота скремблера, наведеного на рис. 4.9, описується алгоритмом:

$$d'_n = d_n \oplus d'_{n-18} \oplus d'_{n-23}, \quad (4.1)$$

де d_n - n-ий біт на вході скремблера;

d'_n - n-ий біт після операції скремблювання.

У приймальнику здійснюється зворотне перетворення прийнятого сигналу шляхом декодування його за допомогою дескремблера.

На рис. 4.10 зображений дескремблер. Приведені скремблер і дескремблер широко використовуються в обладнанні зв'язку, включаючи апаратуру систем SHDSL і ADSL.

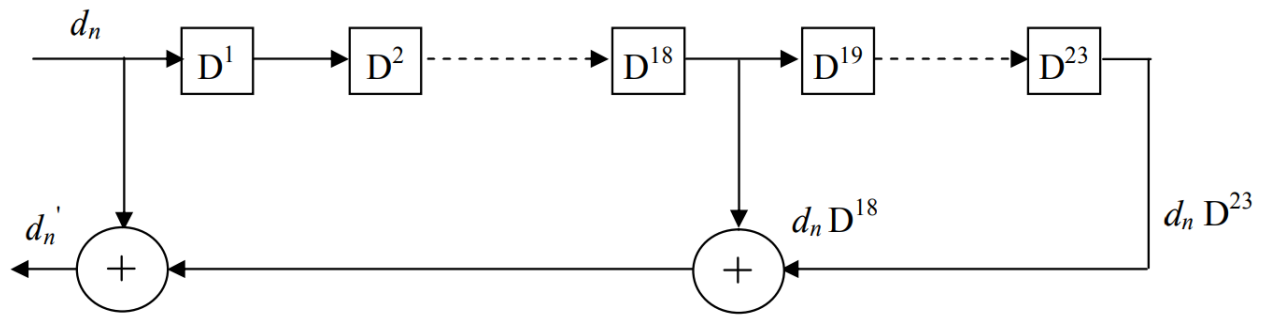


Рисунок 4.10 - Дескремблер

Зауважимо, що скремблер є рекурсивним пристроєм, в той час як дескремблер - нерекурсивним (не містить зворотний зв'язок). приведена пара скремблера і дескремблера характеризується породжуючим поліномом $G(D)$:

$$G(D) = D^{23} + D^{18} + 1 \quad (4.2)$$

Коефіцієнти полінома (4.2) вказують на розташування відводів, де здійснюється операція підсумовування по модулю 2. Породжуючий поліном скремблера зазвичай вибирається таким чином, щоб забезпечити на виході псевдовипадкову послідовність максимальної довжини, коли на вхід скремблера надходять поспіль нулі або одиниці. Іншими словами, послідовність максимальної довжини характеризує періодичність генерованої послідовності при незмінному сигналі на вході скремблера. Якщо коефіцієнти полінома обрані правильно, то зазвичай, чим довший скремблер, тим довші послідовності максимальної довжини він виробляє. При цьому довжина послідовності максимальної довжини скремблера дорівнює $2^n - 1$, де n – порядок породжуючого полінома скремблера.

Скремблер і дескремблер, зображені на рисунках 4.9 і 4.10, є самосинхронізуючими: почавши працювати в довільному стані (тобто при довільних початкових сигналах в комірках скремблера/дескремблера), після певного проміжку часу дескремблер починає видавати правильно передані двійкові символи. Крім того, помилка біта в каналі не буде приводити до значного збільшення кількості помилок (розмноження помилок) на виході дескремблера. Цією властивістю дескремблер володіє завдяки відсутності в

ньому зворотного зв'язку. Однак дескремблер збільшує число помилок. Одна однобітова помилка на вході дескремблера призводить до кількості однобітових помилок, рівному числу відводів дескремблера. У показаному на рис. 4.10 прикладі одна однобітова помилка на вході виробляє три однобітових помилки на виході дескремблера. Цей недолік компенсується тими перевагами, які забезпечує скремблювання, і тому воно широко застосовується в сучасній апаратурі зв'язку. У різних напрямках передачі використовуються різні породжуючі поліноми скремблювання.

4.1.6 Методи поєднання передачі і прийому в одній парі кабелю

Абонентські лінії, як правило, будуються по двухпроводній схемі, і передача цифрових сигналів в обох напрямках вимагає застосування заходів щодо їх поєднання і розподілу. Для забезпечення дуплексної передачі по двоводним лініям застосовується в основному частотний або ехокомпенсаційний поділ сигналів зустрічних напрямків передачі. У деяких моделях обладнання цифрових абонентських ліній на базовій швидкості передачі (144 кбіт/с) також використовувався тимчасовий поділ сигналів. При тимчасовому поділі (рисунк 4.11) двухпроводна лінія зв'язку на кожному кінці по чергово синхронно комутується або на передачу сигналів S_1 одного передавача, або на прийом сигналів S_2 протилежного передавача. При цьому швидкість передачі сигналів по абонентській лінії більш ніж в два рази вище необхідної для передачі сигналів одного напрямку. Це тягне за собою зменшення дальності зв'язку, що обмежує застосування цього методу поділу невисокими швидкостями передачі. Перевагою цього методу поділу є його простота і можливість реалізації системи передачі виключно на цифрових елементах.

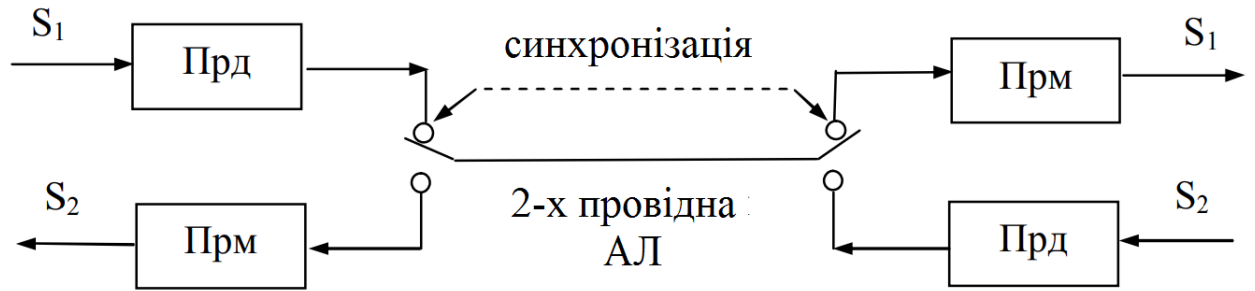


Рисунок 4.11 – Часовий поділ сигналів зустрічних напрямків передачі:

Прд – передавач СП; Прм – приймач СП

Розподіл сигналів S_1 і S_2 зустрічних напрямків передачі по смугах частот, як правило, здійснюється парою фільтрів, що складається з низькочастотного і високочастотного фільтрів (ФНЧ і ФВЧ), що включаються в кожному з напрямків передачі (рисунок 4.12). До переваг цього методу поділу можна віднести відсутність перехідних перешкод на ближньому кінці, які будуть визначати дальність зв'язку при низькому перехідному загасанні між паралельно працюючими системами передачі. Однак розширення смуги частот, необхідної для передачі сигналів зустрічних напрямків в різних смугах частот, нівелює цю перевагу.

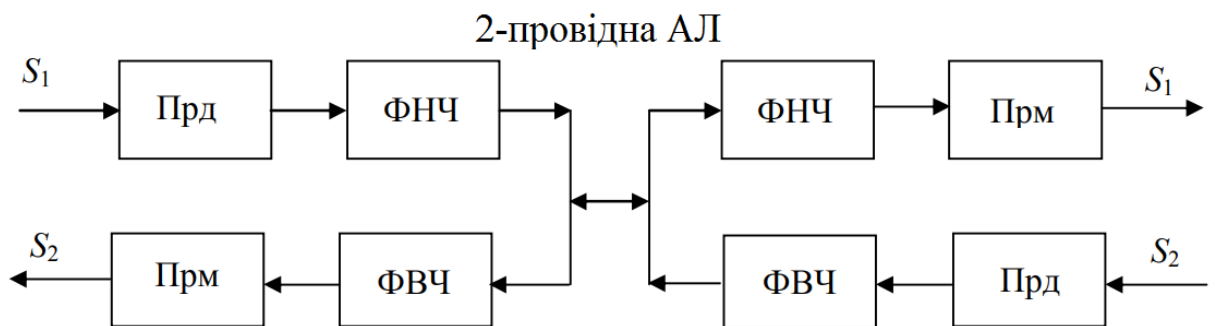


Рисунок 4.12 – Розподіл сигналів зустрічних напрямків передачі по частоті:

Прд – передавач СП; Прм – приймач СП.

В системах передачі xDSL розподіл сигналів зустрічних напрямків передачі по смугах частот, які вони займають, знайшов застосування в приймально-передавальному обладнанні типу ADSL, що використовує

асиметричну по швидкості передачу в різних напрямках. Це обумовлено тим, що, по-перше, асиметрія по швидкості передачі значно знизилася втрати від розширення смуги частот, а по-друге, ортогональність і частотна вибірковість сигналів-переносників ADSL-обладнання дозволяє при синхронізації передавачів різних напрямків передачі здійснити поділ їх сигналів без застосування фільтрів або при використанні досить простих фільтрів.

Перевагою ехокомпенсаційного методу розділення сигналів зустрічних напрямків передачі є висока частотна ефективність передачі інформації, обумовлена тим, що сигнали зустрічних напрямків передачі передаються одночасно у всій смузі частот, що доступна для передачі. Для поділу таких сигналів застосовуються диференціальні системи (ДС). Однак принцип, покладений в основу функціонування традиційних (не адаптивних) ДС, не дозволяє забезпечити необхідний ступінь поділу напрямків передачі і прийому. Для забезпечення вимог по розділенню напрямків передачі застосовується спеціальний пристрій - ехокомпенсатор, що включається паралельно ДС (рис. 4.13).

Ехокомпенсатор являє собою цифровий адаптивний фільтр, на вхід якого надходить сигнал передавача, а вихідний сигнал віднімається з вхідного сигналу приймача, що представляє собою суміш корисного сигналу (сигналу дальнього передавача) і перешкоди (сигналу власного передавача). Ехокомпенсатор налаштовується за критерієм мінімуму енергії сигналу передавача на вході власного приймача. Цей метод поділу сигналів S_1 і S_2 зустрічних напрямків передачі отримав переважне застосування в системах передачі xDSL.

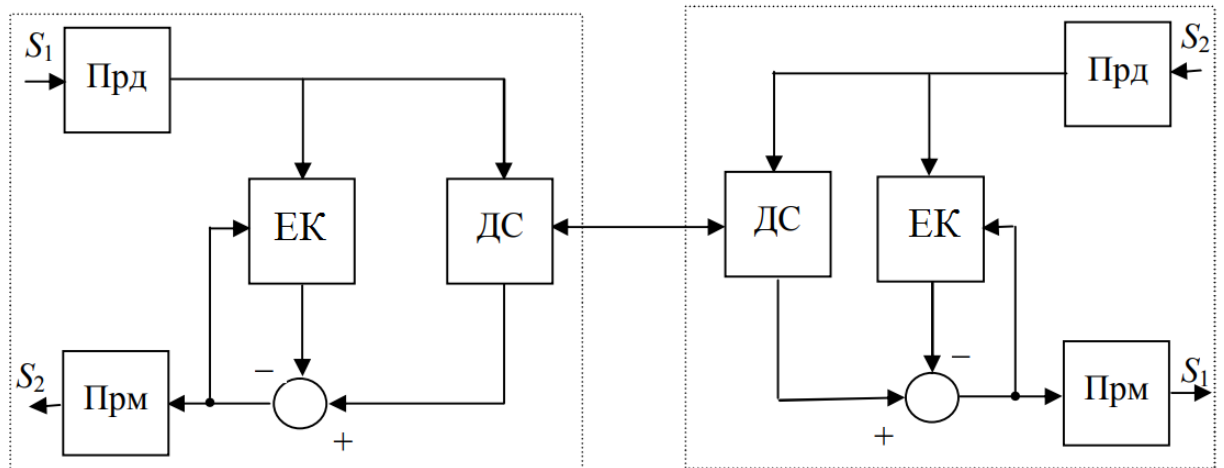


Рисунок 4.13 – Ехокомпенсаційний метод розподілу сигналів:

ЕК – ехокомпенсатор; ДС – диференціальна система; Прд – передатчик СП; Прм – прийомник СП.

4.2 Різновиди xDSL-технологій. Стандарти MCE-T і область їх застосування в мережах зв'язку

4.2.1 HDSL

High-bit-rate digital subscriber line (HDSL) - високошвидкісна цифрова абонентська лінія, телекомунікаційний протокол стандартизований в 1994-му році. Це була перша xDSL-технологія, що використовувала високочастотний спектр по мідному кабелю та скрученій парі. HDSL був розроблений для передачі потоку T1 на швидкостях 1,544 Мбіт/с і 2,048 Мбіт/с по місцевим телефонним лініям без необхідності використання повторювачів. Наступником HDSL технології є HDSL2 та HDSL4, SDSL та G.SHDSL.

HDSL для ліній T1, що працюють на швидкості 1,544 Мбіт/с, був розроблений Американським національним інститутом стандартів (англ. American national standards institute, ANSI) на комітеті T1E1.4 і опублікований в лютому 1994го. Американський варіант передбачав використання двох пар проводів зі швидкістю 784 кбіт/с кожна, використання лінійного коду 2B1Q, який також використовувався в американському варіанті інтерфейса ISDN. Перші пристрої були розроблені

вже в 1993-му році. Європейська версія стандарту для лінії E1, що працюють на швидкості 2,048 Мбіт/с був опублікований в 1995-му році Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (англ. European Telecommunications Standards Institute (ETSI)) як ETSI ETR 152. Перший варіант стандарту передбачав використання лінійного коду 2B1Q по трьом лініям з швидкістю 784 кбіт/с кожна, або по двом парам зі швидкістю 1,168 кбіт/с кожна. Другий варіант стандарту ETR 152, опублікований в червні 1995-го, вказував на використання трелліс-кодованої амплітудно-фазової модуляції з придушення несучої (CAP) як альтернативної модуляційної схеми, що працювала по двом парам, швидкістю 1,168 кбіт/с кожна. Третя версія ETR 152, опублікована в грудні 1996-го, добавляла можливість використання однієї CAP-модульованої пари на швидкості 2,320 кбіт/с. Пізніше інтернаціональний стандарт технології HDSL був опублікований 26-го серпня Сектором стандартизації електрозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т, англ. ITU-T) і схвалений як рекомендація ITU-T G.991.1 [15] 13-го жовтня 1998-го року.

На відміну від ADSL, HDSL працює в основній смузі частот і не дозволяє таким технологіям як POTS чи ISDN співіснувати на одній парі. Також відмінність від ADSL полягає в тому, що HDSL не є адаптивною до швидкості: швидкість лінії завжди становить 1.544 Мбіт/с або 2.048 Мбіт/с.

HDSL відкрив шлях новим симетричним xDSL-технологіям, як HDSL2, HDSL4, SDSL, G.SHDSL. HDSL2 забезпечує ту ж саму швидкість передачі використовуючи при цьому лише одну пару проводів; також забезпечується більша дальність передачі і можливість працювати з мідними лініями менш низької якості. SDSL це багаторівнева технологія, що забезпечує швидкість від 192 кбіт/с до 2,3 Мбіт/с, використовуючи одну пару проводів.

4.2.2 SHDSL, SHDSL.bis, extSHDSL.bis, 2BaseTL (EFM)

Система передачі SHDSL (Single-pair High-speed Digital Subscriber Line - Рекомендація MCE-T G.991.2 [16]) в базовому варіанті використовує 16-позиційну амплітудно-імпульсну модуляцію (AIM) з решітчастим кодуванням - 16-TCPAM (TCPAM - Trellis Coded PAM). Цей спосіб модуляції забезпечує передачу чотирьох бітів (трьох бітів корисної інформації і додаткового біта кодування) на одному тактовому інтервалі.

Використання решітчастих (trellis) кодів дає виграш в 5 дБ, що дозволяє знизити ймовірність помилки при передачі і збільшити дальність зв'язку. Для декодування в приймачі використовується ефективний алгоритм Вітербі. Додатковий виграш в системі передачі SHDSL отриманий за рахунок застосування попереднього кодування Томлінсона (Tomlinson) – попередньої корекції сигналу в передавачі на основі знання імпульсної характеристики каналу. В результаті застосування цих алгоритмів SHDSL в порівнянні з однопарним варіантом системи передачі за технологією HDSL (Рекомендація MCE-T G.991.1 [15]), що використовує код 2B1Q, як показала експлуатація, дозволяє збільшити на 35-45% швидкість передачі при тій же дальності або збільшити дальність на 15-20% при тій же швидкості.

З метою забезпечення надання послуг різного рівня в системі передачі SHDSL передбачена можливість вибору швидкості в діапазоні від 192 Кбіт/с до 2312 Кбіт/с з кроком 8 Кбіт/с. За рахунок розширення набору швидкостей передачі оператор може вибудувати маркетингову політику, яка більш повно задовольняє потреби клієнтів. Крім того, до зменшення швидкості передачі вдаються в тих випадках, коли необхідно домогтися збільшення дальності передачі, а установка регенераторів неможлива або недоцільна. При максимальній швидкості передачі довжина цифрової абонентської лінії на

базі системи передачі SHDSL становить близько 2 км (для кабелю типу ТП з діаметром жив 0,4 мм), при мінімальній - понад 6 км.

Для збільшення швидкості передачі в СП SHDSL передбачена можливість використання для передачі даних одночасно до чотирьох пар, що дозволяє забезпечити швидкість передачі до 9,248 Мбіт/с.

Введена в грудні 2003 року редакція Рекомендації G.991.2 [15] передбачає опцію системи передачі SHDSL зі збільшеною швидкістю передачі інформації по одній парі кабелю до 5696 Кбіт/с, при цьому можливе використання як модуляції 16-TCPAM, так і 32-TCPAM. Це дозволяє СП SHDSL при роботі в чотирьохпарному режимі передачі досягати швидкості 22784 Кбіт/с.

У 2007 році з'явилися повідомлення про подальше збільшення максимальної швидкості передачі системи передачі SHDSL по одній парі до 15200 Кбіт/с шляхом реалізації методів модуляції 64-TCPAM і 128-TCPAM.

SHDSL замінює стару симетричну технологію DSL, визначену в ITU-T G.991.1 [15]. SHDSL в основному була витиснена технологією VDSL2 через більшу пропускну здатність, менший вплив завад і більший спектр використання.

У Європі варіант SHDSL був стандартизований Європейським інститутом стандартів телекомунікацій (ETSI), використовуючи назву «SDSL». Цей варіант ETSI сумісний зі стандартизованим регіональним варіантом MCE-T SHDSL для Європи і не слід плутати його з використанням терміна SDSL у Північній Америці для позначення симетричної цифрової абонентської лінії.

Як було сказано раніше, стандарт SHDSL визначається рекомендацією MCE-T (ITU-T) G.991.2 [15], вперше опублікованою в лютому 2001-го року. Обладнання SHDSL також відоме за його проектною назвою G.SHDSL. В грудні 2003-го року було опубліковане основне оновлення рекомендації.

Відповідне обладнання часто згадується, як G.SHDSL.bis, або просто SHDSL.bis.

Основні зміни рекомендації G.991.2 [16]:

- Додаткова підтримка з'єднання до чотирьох пар;
- Змога збільшення швидкості передачі даних до 5696 кбіт/с по одній парі.
- Підтримка динамічного перерозподілу швидкості, що дозволяє гнучко змінювати швидкість передачі даних SHDSL без переривання послуги;
- Нові визначення корисного навантаження, включаючи передачу пакетів Ethernet (PTM);

У зв'язку з необхідністю збільшення пропускної здатності розробники випустили обладнання, що використовує технологію SHDSL.bis Extended, де застосовується модуляція РАМ-64 та РАМ-128, що забезпечує швидкість передачі даних до 15 Мбіт/с по одній парі.

В сучасній апаратурі передбачена також можливість вибору лінійного кодування, що дозволяє максимізувати швидкість передачі при мінімізації ймовірності появи помилок в залежності від того, яка лінія використовується. Наприклад, в довгій лінії велике затухання, особливо високих частот. Але якщо завад мало, то в такому випадку можна вибрати кодування «більшої щільності» (наприклад РАМ-128, замість РАМ-64). Сигнал РАМ-128 має більш вузький спектр, в порівнянні з РАМ-64. Відповідно верхня гранична частота спектру стає нижчою. В результаті, в лінії сигнал РАМ-128 «втрачає» менше потужності, ніж сигнал РАМ-64.

В умовах невеликих шумів це дозволяє домогтися більшої дальності (або більшої швидкості при заданій дальності) передачі. Інший приклад: лінія не довга, але зашумлена. В цьому випадку можна обрати кодування меншої щільності, наприклад РАМ-64 замість РАМ-128, тоді відстань між рівнями кодування стає більшою і сигнал стає менш схильним до впливу завад.

Ethernet in the First Mile (EFM) зсилається на стандарт IEEE 802.3ah-2004, який є поправкою до базового стандарту 802.3 Ethernet, додаючи специфікації для розширення надання послуг Ethernet в мережах доступу, використовуючи раніше непідтримувані технології мідного кабелю та волокна. Наприклад, EFM визначає прийомопередавачі, що підтримують Ethernet, по одній парі мідних дротів, які присутні як в жилих домах, так і в мережах абонентського доступу для бізнесу, що дозволяє економічно вигідно надавати доступ в Інтернет, VoIP та інших послуг в важкодоступні місця за допомогою мідних або оптоволоконних мереж.

2Base-TL (802.3-2008) є ключовою специфікацією, пов'язаною з EFM, для надання повнодуплексних послуг Ethernet по мідному кабелю голосової якості. В той час, як типові послуги Ethernet надаються з кроком 10 (10 Мбіт/с, 100 Мбіт/с і т.д.), 2Base-TL дозволяє використовувати Ethernet-транспорт зі змінною швидкістю для врахування обмежень пропускної здатності через відмінності в характеристиках мідного кабелю (довжина, діаметр проводу, кількість пар і т.д.).

Стандарт 2Base-TL підтримує симетричну швидкість передачі даних від 2 Мбіт/с до 5,7 Мбіт/с на відстань до 2,7 км по одній парі проводів, основується на G.SHDSL.

4.2.3 ADSL, ADSL2, ADSL2+

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL (Asymmetric DSL), відповідно до Рекомендації МСЕ-Т G.992.1 [17], забезпечує швидкість передачі до 6,144 Мбіт/с в низхідному напрямку і до 640 кбіт/с - у висхідному напрямку. Обладнання більшості виробників забезпечує швидкість передачі до 8 Мбіт/с в низхідному напрямку і до 1 Мбіт/с - в висхідному напрямку. Асиметричність швидкості передачі в комплексі з постійно встановленим з'єднанням (коли виключається необхідність кожен

раз набирати телефонний номер і чекати встановлення з'єднання) робить технологію ADSL ідеальною для організації доступу до мережі Інтернет. Технологія ADSL дозволяє зберегти телефонний зв'язок шляхом використання частотних розділювачів (сплітерів): одного - на АТС, а іншого - в приміщенні користувача. До одного входу сплітера в приміщенні користувача підключається аналоговий телефонний апарат, а до іншого - ADSL-модем, який в залежності від реалізації може виконувати також функції маршрутизатора, комутатора або моста. При цьому робота ADSL-модема не заважає функціонуванню традиційного телефонного зв'язку, працюючої незалежно від того, чи функціонує канал ADSL.

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL G.Lite згідно Рекомендації MCE-T G.992.2 [18] - це варіант технології ADSL, що забезпечує швидкість передачі в низхідному напрямку до 1,5 Мбіт/с, а у висхідному напрямку - до 512 кбіт/с. Устаткування технології G.Lite є більш простим в установці і дешевшим, ніж ADSL. Одним з шляхів спрощення установки модемів ADSL G.Lite стало введення високочастотної частини сплітера в корпус модемів, що позбавило від необхідності установки зовнішнього сплітера (звідси і назва - Splitterless ADSL (ADSL без сплітера)).

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL 2 згідно Рекомендації MCE-T G.992.3 [19] є вдосконаленою версією ADSL. Технологія ADSL2 забезпечує швидкість передачі в низхідному напрямку до 8 Мбіт/с, а у висхідному напрямку - до 800 кбіт/с. Обладнання більшості виробників забезпечує швидкість передачі до 12 Мбіт/с в низхідному напрямку і до 1 Мбіт/с у висхідному напрямку. Збільшення швидкості передачі в порівнянні з ADSL, відповідної Рекомендації G.992.1 [17], обумовлено внесенням цілої низки описаних нижче удосконалень.

- Більш гнучка і ефективна побудова кадру, що дозволяє керувати кількістю службової інформації (від 4 кбіт/с до 64 Кбіт/с), тобто

зменшити її обсяг, а значить збільшити швидкість передачі корисної інформації, що особливо важливо на довгих лініях.

- Структура кадрів дозволяє більш ефективно використовувати виграш за рахунок кодування Ріда-Соломона.
- Оновлені процедури діагностики лінії, призначені для виявлення несправностей і моніторингу характеристик ліній ADSL 2 у час роботи: приймачі ADSL 2 можуть здійснювати вимірювання рівня шуму в лінії, загасання і відношення сигнал / шум на обох кінцях лінії. При цьому вимірювання цих параметрів можуть здійснюватися навіть при неможливості встановлення нормального з'єднання по даній лінії.
- Додана підтримка однобітових кодових сузір'їв, що дозволяє отримати велику дальність роботи системи на малих швидкостях.
- Поліпшено процедури управління передачею. Наприклад, система адаптує свою швидкість передачі даних в режимі реального часу. Це нововведення, що називається фоновією адаптацією швидкості (Seamless Rate Adaptation, SRA), дозволяє системам ADSL 2 змінювати швидкість передачі даних прямо під час роботи без переривань зв'язку або бітових помилок. Для цього система діагностує зміни характеристик каналу зв'язку (наприклад, коли місцева АМ-радіостанція вимикає свій передавач на ніч) і непомітно для користувача змінює швидкість передачі.
- Додана функція регулювання споживаної потужності, що дозволяє системі перебувати в стійкому режимі L0 (режимі постійної передачі корисної інформації), режимі низького споживання потужності L2 (Споживана потужність залежить від характеру трафіку) або в режимі холостого ходу L3 (сплячий режим, коли інформація тривалий час не передається).

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL 2 без сплітера, відповідна Рекомендації G.992.4 [20], - наступне покоління технології ADSL G.Lite. У порівнянні з технологією ADSL G.Lite, ADSL 2 без сплітера має ряд удосконалень:

- оптимізована підтримка цифрових служб і передачі голосу;
- оптимізована можливість зміни характеристик лінії
- "на ходу";
- оптимізовані процедури управління спектром передачі;
- додана підтримка однобітових кодових сузір'їв;
- доданий повністю цифровий режим роботи

Асиметрична цифрова абонентська лінія ADSL 2+, відповідна Рекомендації G.992.5 [21], забезпечує швидкість передачі в низхідному напрямку до 16 Мбіт/с, а у висхідному - до 800 кбіт/с. Устаткування ADSL2+ більшості виробників забезпечує швидкість передачі у висхідному напрямку до 1 Мбіт/с, а в низхідному напрямку - до 24 Мбіт/с. Таке збільшення швидкості передачі стало можливим за рахунок майже дворазового (до 2,208 МГц) розширення смуги частот, використовуваної для передачі в низхідному напрямку.

Основні відмінності ADSL 2+ від ADSL 2:

- підтримка до трьох кодових слів коду Ріда-Соломона на один ДМТ символ;
- вдосконалені процедури управління спектром при встановленні з'єднання і під час передачі інформації;
- поліпшена підтримка послуг, що вимагають високих швидкостей передачі даних в низхідному напрямку (наприклад, широкосмугові розважальні послуги).

В основу функціонування системи передачі ADSL (а також і VDSL) закладений метод передачі ортогональними гармонічними сигналами (ОГС).

Відмінною рисою цього класу систем передачі є те, що враховуючи характер трафіку при роботі в мережі Інтернет, швидкість передачі в напрямку від абонента і до абонента вибрані різними – асиметричними, хоча передбачений також варіант симетричних швидкостей передачі. В силу цього цифрові абонентські лінії, побудовані з використанням обладнання цього класу, отримали назву асиметричних цифрових абонентських ліній – ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line). Варіанти регламентованих рекомендаціями MCE-T систем передачі ADSL принципово відрізняються один від одного лише числом ортогональних несучих і відповідно швидкостями передачі. Інші відмінності носять неprincipовий, інженерний характер.

Важливою перевагою системи передачі ADSL є можливість спільної роботи по одній абонентській лінії з аналоговим телефоном традиційної телефонної мережі. Для поділу сигналів і збереження телефонного зв'язку на станційній і абонентських сторонах система передачі ADSL має розділювальне обладнання – сплітери (рис 4.14).

Розділення сигналів зустрічних напрямків передачі в системі передачі ADSL здійснюється або по частоті за допомогою фільтрів або за рахунок частотної вибірконості сигналів-носіїв, або ехокомпенсаційним методом за допомогою ехокомпенсатора, що включається між виходом передавача і входом приймача.

Спектр лінійного сигналу ADSL для варіанту частотного поділу сигналів зустрічних напрямків передачі показаний на рис. 4.15. Знизу спектр сигналу обмежений частотою близько 30 кГц (точніше - 25,875 кГц згідно Рекомендації G.992.1 Annex A [17]), що дозволяє зберегти телефонний канал. Є також варіант спектра ADSL, що починається з частоти 138 кГц, що забезпечує сумісність з сигналами ISDN при роботі по одній лінії (G.992.1 Annex B[17]). Існують і варіанти «повністю цифрового режиму» ADSL2 і ADSL2 +, при яких допускається використання смуги частот, починаючи з 3

кГц (G.992.3 Annex I [19] і Annex J, G.992.5 Annex I і Annex J [21]). Гнучкість у формуванні спектра лінійного сигналу є однією з переваг технології ADSL.

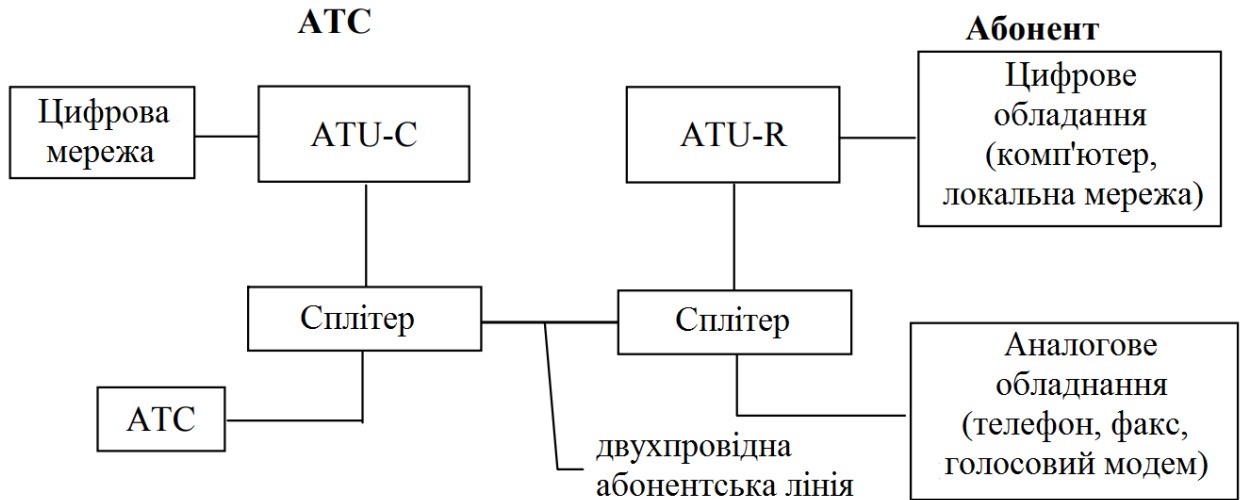


Рисунок 4.14 – Сполучення СП ADSL з телефонним обладнанням, що використовує полосу частот 0,3 кГц – 3,4 кГц:

ATU-C – ADSL Transceiver Unit-Central Office End (прийомопередавач ADSL на стороні станції)

ATU-R – ADSL Transceiver Unit-Remote Terminal End (прийомопередавач ADSL на стороні абонента)

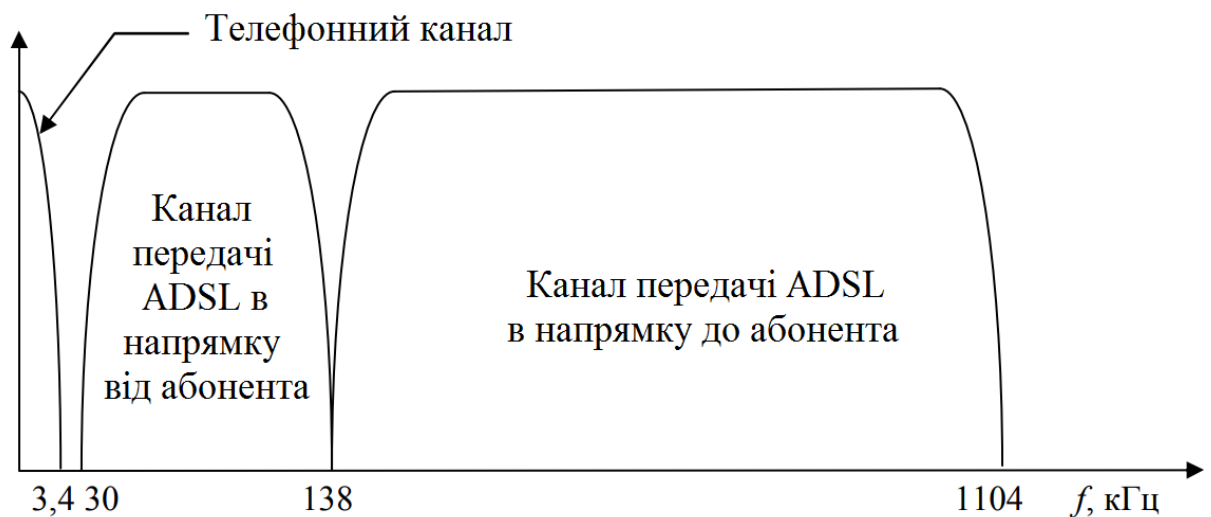


Рисунок 4.15 – Спектр лінійного сигналу ADSL (частотний розподіл сигналів зустрічних напрямків передачі)

Структурна схема передавача ADSL станційної сторони (ATU-C) в відповідності до Рекомендації MCE-T G.992.1 [17] приведена на рис. 4.16.

Введено наступні визначення. Фізичний канал ADSL називається фізичним каналом, а всі інформаційні та службові канали називаються логічними або транзитними каналами. Всі види інформації, крім корисної інформації, називаються службовою інформацією.

Система передачі ADSL дозволяє одночасно передавати сигнали більше одного інформаційного каналу. Для передачі службової інформації використовується вбудований робочий канал - EOC (Embedded Operations Channel), службовий канал управління - AOC (ADSL Overhead Control Channel), а також службові біти. Комбінування і поділ логічних каналів в передавачі і приймачі здійснюється за допомогою кадрової структури. Таким чином, у фізичному каналі ADSL створюється ряд логічних каналів.

В системі передачі ADSL в низхідному напрямку (в напрямку від станції до абонента) може бути організовано до чотирьох симплексних логічних каналів і до трьох повнодуплексних логічних каналів, які мультиплексуються в єдиний фізичний канал блоком «Мультиплексор» (див. рис. 4.16). Симплексні канали позначені AS0, AS1, AS2 і AS3, а дуплексні - LS0, LS1 і LS2. Дуплексні канали можуть мати різні швидкості передачі в різних напрямках, включаючи і нульову швидкість в одному або обох напрямках. Коли швидкість дуплексного каналу дорівнює нулю в одному напрямку, він перетворюється в симплексний канал в напрямку з ненульовою швидкістю. Для всіх логічних каналів реальні швидкості передачі кратні 32 Кбіт/с. У багатьох реалізаціях в низхідному напрямку використовується тільки один симплексний канал, а у висхідному напрямку двобічний канал використовується в симплексному режимі. Зазвичай в цих випадках використовуються канали AS0 і LS0.

Можливість використання різних логічних каналів дозволяє ADSL бути досить гнучкою для підтримки різних додатків. Наприклад, одним із

застосувань ADSL є відео за запитом по телефонній лінії. В цьому випадку для передачі цифрового відеозапису та аудіозапису може використовуватися, наприклад, низхідний симплексний канал AS0, тоді як для передачі і прийому керуючої інформації (команди паузи або перемотування) може використовуватися, наприклад, дуплексний канал LS0.

Характерною особливістю передавача є наявність в ньому двох трактів – швидкого, та з перемежуванням. Ці назви зобов'язанні своєму походженню тому факту, що данні тракту з перемежуванням (які в результаті стали називатись данні з перемежуванням) з ціллю декореляції потоку помилок (що призводить до підвищення завадозахищеності) піддаються операції згорткового перемежування, яка вносить в ці данні затримку. Натомість данні швидкого тракту (швидкі данні) не мають блоку перемежування і тому проходять через цей тракт швидше. Таке рішення пов'язанно з тим, що метод передачі ортогональних гармонічних сигналів, який використовується в ADSL, вносить в передані данні значні затримки, що визначаються довжиною тактового інтервалу. Але для деяких видів переданої інформації, наприклад телефонних повідомлень, затримки строго нормуються і великі затримки недопустимі. Для того щоб не вносити в такі сигнали додаткову затримку через перемежування ці данні передаються по окремому (швидкому) тракту, в якому перемежування відсутнє.

Слід зазначити, що будь-який логічний канал призначається або швидкому, або тракту з перемежуванням, але ніяк не обом. Проте, обидва тракти можуть бути активними одночасно (якщо кожному буде призначений один або більше логічних каналів). Однак у багатьох реалізаціях використовується тільки один тракт.

Функціонально передавач станційного модему ATU-C і передавач абонентського модему ATU-R реалізуються за одними і тими ж алгоритмами. Однак між ними існують і незначні відмінності, пов'язані з відмінністю

швидкостей передачі «вниз» і «вгору». Перш за все, ATU-C і ATU-R відрізняються числом використовуваних несучих сигналів.

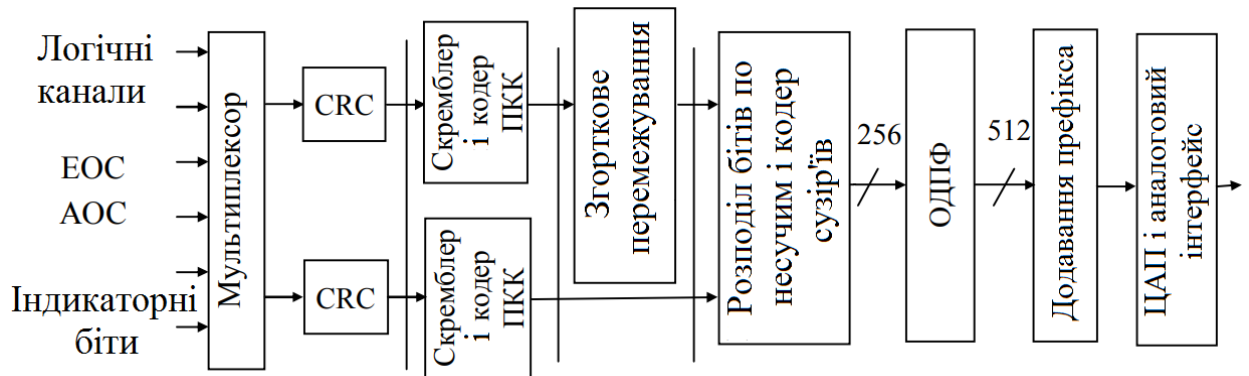


Рисунок 4.16 – Структурна схема передавача ADSL (ATU-C):

Розглянемо призначення блоків передавача. Блок мультиплексування об'єднує до чотирьох симплексних (AS0 - AS3) і до трьох дуплексних (LS0 - LS2) інформаційних (логічних) сигналів, синхронізованих з тактовою частотою 4 кГц, з сигналами управління, адміністрування та експлуатації в два окремих потоки даних: швидкий і з перемежуванням. Кожен з потоків піддається незалежному CRC-кодуванню, скремблюванню і кодуванню кодом, що виправляє помилки (пряме коригуюче кодування - ПКК), - кодом Ріда-Соломона. Потім дані тракту з перемежуванням піддаються операції згорткового перемежування. Сформовані потоки двійкових символів розподіляються по каналах (несучим) передавача відповідно до оптимального розподілу потужності передавача і числа бітів інформації, що передається по несучих. Цей розподіл визначається в приймачу модему ATU-R і передається на протилежну сторону. Відповідно до цього розподілу вибираються вид сигнального сузір'я (при цьому використовуються сигнально-кодові конструкції) і коефіцієнт посилення в кожному каналі. В результаті формується комплексний вектор, який перетворюється за алгоритмом оберненого дискретного перетворення Фур'є (ОДПФ). Цифровий сигнал, отриманий в результаті ОДПФ перетворення, доповнюється

сигналами префіксу, перетворюється в аналоговий сигнал і передається по абонентській лінії.

4.2.4 VDSL, VDSL2

Супершвидкісна цифрова абонентська лінія VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line), відповідна Рекомендації G.993.1 [22], забезпечує в асиметричному варіанті швидкість передачі в низхідному напрямку до 57 Мбіт/с, а у висхідному - до 33 Мбіт/с. У симетричному варіанті швидкість передачі в обох напрямках становить до 33 Мбіт/с (Проте така висока швидкість передачі досягається тільки на невеликих відстанях: близько 300 м при швидкості 57 Мбіт/с і близько 1,8 км - при швидкості 13 Мбіт/с). Технологія VDSL може використовуватися з тими ж цілями, що і ADSL, а також для передачі сигналів телебачення високої чіткості (HDTV), відео за запитом і т.д.

У 1995 р були зроблені перші спроби стандартизації VDSL, причому майже одночасно декількома організаціями ANSI, ETSI і ITU-T. У всіх трьох організацій виникли розбіжності щодо модуляції (QAM або DMT). У 2003 р міжнародна організація ITU-T схвалила проміжний стандарт VDSL, у вигляді рекомендації G.993.1 [22], де в якості основної модуляції була прийнята DMT, а в якості факультативної - QAM. В остаточному варіанті стандарту, який був затверджений в 2004 році, залишилася тільки модуляція DMT. Стандарт ITU-T G.993.1 [22] передбачає передачу даних як в симетричному, так і в асиметричному режимах на швидкості до десятків Мбіт/с (в стандарті ITU-TG.993.1 [22] не обумовлена точна гранична швидкість) на відстанях до 1,5 км [32].

Розроблено три частотних плану:

- Plan 997;
- Plan 998;

- PlanFx;

Plan 998 прийнятий Національними інститутом стандартів США (ANSI, American National Standards Institute) використовується в Північній Америці, Японії і Європі. Plan 997, Plan 998 прийняті Європейським інститутом по стандартизації в галузі телекомунікацій (ETSI, European Telecommunications Standards Institute), розроблені для використання в Європі. Plan 997, Plan 998, PlanFx схвалені до використання міжнародним союзом електрозв'язку (ITU, International Telecommunications Union). Plan Fx (Flexible) використовується тільки в Швеції і має на увазі нечітку межу частот в діапазоні від 3.75 МГц до 12 МГц. Ця межа може встановлюватися програмним шляхом на обладнання. Головна умова, щоб на стороні клієнтського пристрою і операторського пристрою дані межі збігалися. Діапазони частотних планів приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Частотні плани технології VDSL: DS (Down Stream) – нисхідний потік, US (Up Stream) – висхідний потік.

| | DS1 | US1 | DS2 | US2 |
|------------------|------------|----------|----------|-----------|
| Plan 997, МГц | 0,138-3,0 | 3,0-5,1 | 5,1-7,05 | 7,05-12,0 |
| Plan 998, МГц | 0,138-3,75 | 3,75-5,2 | 5,2-8,5 | 8.5-12,0 |
| Plan Fx, МГц | 0,138-2,5 | 2,5-3,75 | 3,75-Fx | Fx-12,0 |

У 2006 р ІТУ-Т прийняла стандарт VDSL2 у вигляді рекомендації G.993.2 [23]. Основною і єдиною модуляцією була названа DMT. Технологія VDSL2 також як і VDSL може передавати дані як в симетричному, так і в асиметричному режимі з максимально досяжною швидкістю - 200 Мбіт/с. Також для адаптації до умов лінії в VDSL2 доданий механізм перестановки

бітів (Bit Swapping) і плавної адаптації швидкості (SRA, Seamless Rate Adaptation).

Технологія VDSL для передачі даних використовує частоти в діапазоні від 138 кГц до 12 МГц і до 30 МГц для VDSL2. Причому в технології VDSL для передачі і прийому виділили кілька діапазонів. Для прийому даних використовуються частоти в діапазоні 138 кГц – 3,75 МГц, 5,2 МГц – 8,5 МГц, а для передачі даних використовуються частоти в діапазоні 3,75 МГц – 5,2 МГц, 8,5 МГц - 12 МГц. В технології VDSL2 робочий діапазон частот збільшений до 30 МГц, для прийому даних використовується діапазон 12 МГц - 18 МГц, а для передачі 18 МГц - 30 МГц.

4.2.5 G.fast

G.fast – протокол цифрової абонентської лінії розроблений для ліній довжиною до 500 метрів, зі швидкістю передачі даних від 0,1 до 1 Гбіт/с, залежно від довжини самої лінії. Висока швидкість забезпечується лише на коротких лініях. Початково G.fast був спроектований для ліній довжиною до 250 метрів, однак компанія Sckipio на початку 2015-го року продемонструвала швидкість передачі більше 0,1 Гбіт/с майже на 500 метрів, і Європейський союз об'явив про дослідницький проект.

Офіційні специфікації були опубліковані як ITU-T G.9700 і G.9701. Специфікація G.9700 була стверджена в квітні 2014-го, а специфікація G.9701 5 грудня 2014-го.

Буква G в G.fast вказує серію рекомендацій ITU-T G; fast – це скорочення, що в перекладі означає швидкий доступ до абонентських терміналів (fast access to subscriber terminals). Обмежена демонстрація обладнання була проведена в середині 2013-го року. Перші чіпсети були представлені в жовтні 2014-го року, комерційне обладнання з'явилося в 2015-му році, а перші впровадження почалися в 2016-му році.

В G.fast використовується DMT модуляція, так само як в VDSL2 і в більшості варіантів ADSL. Кількість біт, що модулюються на одній несучій, було зменшено до 12-ти (на відміну від VDSL2, де модулюється 15 біт) в зв'язку з викликаними складнощами.

В першій версії G.fast визначений частотний профіль 106 МГц, а для майбутніх правок запланований профіль 212 МГц, в порівнянні з 30 МГц в VDSL2. Цей спектр перекриває діапазон FM-мовлення між 87,5 МГц і 108 МГц, а також різноманітні воєнні і урядові радіослужби. Для обмеження впливу на ці радіослужби в Рекомендації ITU-T G.9700, яка також називається G.fast-psd, визначається набір інструментів для формування спектральної потужності сигналу що передається. Щоб забезпечити співіснування з ADSL2 і різними профілями VDSL2, початкова частота може бути встановлена на 2,2, 8,5, 18 або 30 МГц.

G.fast забезпечує дуплексну передачу с часовим поділом (TDD - Time Division Duplex), на відміну від ADSL2 і VDSL2, які використовують дуплексну передачу даних з частотним розподілом. Підтримка симетрії в співвідношенні 90/10 і 50/50 є обов'язковою. Переривчатий характер TDD може використовуватись для підтримки станів роботи з низьким енерговикористанням, в яких передавач і приймач залишаються вимкненими на протязі довших інтервалів час, аніж цього необхідно для почергової роботи в висхідному і низхідному напрямках. Така операція забезпечує компроміс між пропускною здатністю і енергоспоживанням.

Схема виправлення помилок (FEC – forward error correction) з використанням решітчатого кодування та кодування Ріда-Соломона аналогічна схемі VDSL2. FEC не забезпечує хороший захист від імпульсних завад. З цією ціллю в G.fast присутня схема повторної передачі блоку даних з захистом від імпульсивного шуму (INP – impulse noise protection), розроблена для ADSL2, ADSL2+ і VDSL2. Щоб реагувати на різкі зміни умов каналу або

шуму, швидка адаптація швидкості (FRA – fast rate adaptation) забезпечує швидку (<1 мс) переконфігурацію швидкості передачі даних.

Продуктивність в системах G.fast в значній мірі обмежена перехресними завадами між декількома парами проводів в одному кабелі. Відміна перехресних завад на дальньому кінці, що також називається векторизацією, є обов'язковою в G.fast. Технологія векторизації для VDSL2 була раніше визначена в ITU-T G.993.5 (G.vector). Перша версія G.fast підтримує поліпшену версію схеми лінійного попереднього кодування з нелінійним попереднім кодуванням. Тестування Huawei і Alcatel показують, що алгоритми нелінійного попереднього кодування можуть забезпечити приріст швидкості передачі даних на 25% в порівнянні з попереднім кодуванням на високих частотах. Однак підвищена складність призводить до складнощів при реалізації, більш високому енергоспоживанню і більш високим затратам. Оскільки всі сьогоденні реалізації G.fast обмежені частотою 106 МГц, нелінійне попереднє кодування дає невеликий приріст в продуктивності. Замість цього поточні зусилля по підвищенню швидкості зосереджені на потужності і більшій кількості біт на герц.

В ході випробувань, проведених в Липні 2013-го року компаніями Alcatel-Lucent і Telekom Austria з використанням прототипу обладнання, сумарна швидкість передачі даних (сума низхідної і висхідної швидкості) була 1,1 Гбіт/с на відстані 70 метрів і 800 Мбіт/с на відстані 100 метрів, в лабораторних умовах однієї лінії. На старому неекранованому кабелі сумарна швидкість передачі даних 500 Мбіт/с була досягнута на відстані 100 метрів. Залежність швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії приведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Швидкість передачі даних технології G.fast в залежності від довжини абонентської лінії.

| Довжина абонентської лінії, м | Швидкість передачі даних, Мбіт/с |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| <100 | 900-1000 |
| 100 | 900 |
| 200 | 600 |
| 300 | 300 |
| 500 | 100 |

4.2.6 Порівняльний аналіз стандартів xDSL по характеристиці «дальність-швидкість»

Проведемо порівняльний аналіз стандартів xDSL по характеристиці «дальність-швидкість». Для цього скористаємось програмою xDSLcalc.

Технології які будемо порівнювати:

- ADSL, модуляція DMT
- ADSL2, модуляція DMT
- ADSL2+, модуляція DMT
- SHDSL, модуляція TCPAM-16
- SHDSL, модуляція TCPAM-64
- SHDSL, модуляція TCPAM-128
- VDSL2, профіль 17a, модуляція DMT
- VDSL2, профіль 30a, модуляція DMT

Параметри лінії для всіх вимірів залишаються сталими:

- Кабель: ТПП, 0,5мм;
- Ємність кабеля: 4 пари;
- Норма ELFEXT для 1 км: 10дБ (300 кГц);

- Зміна довжини кабелю: від 0 до 10000 метрів з кроком 1000.
- Шаблон завад -120 дБм на Гц.

Результати вимірів приведені нижче.

Таблиця 4.3 – Значення швидкостей передачі даних для різної довжини кабелю технології ADSL, ADSL2, ADSL2+ з модуляцією DMT.

| Довжина лінії, м | Швидкість передачі даних кбіт/с | | |
|------------------|---------------------------------|-------|--------|
| | ADLS | ADSL2 | ADSL2+ |
| 0 | 7200 | 13500 | 28860 |
| 1000 | 7200 | 13500 | 26804 |
| 2000 | 7200 | 12508 | 18964 |
| 3000 | 6912 | 9292 | 10432 |
| 4000 | 4688 | 5640 | 5640 |
| 5000 | 2652 | 2968 | 2968 |
| 6000 | 1532 | 1604 | 1604 |
| 7000 | 816 | 820 | 820 |
| 8000 | 376 | 376 | 376 |
| 9000 | 128 | 128 | 128 |
| 10000 | 16 | 16 | 16 |

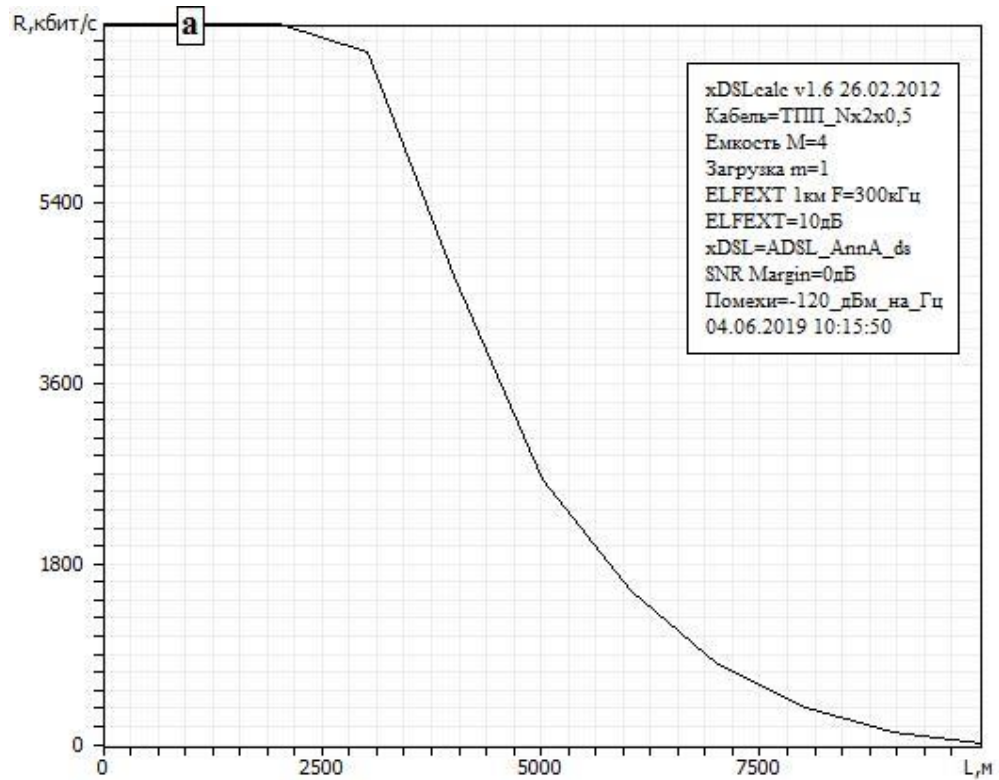


Рисунок 4.17 – Графік залежності швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії для технології ADSL

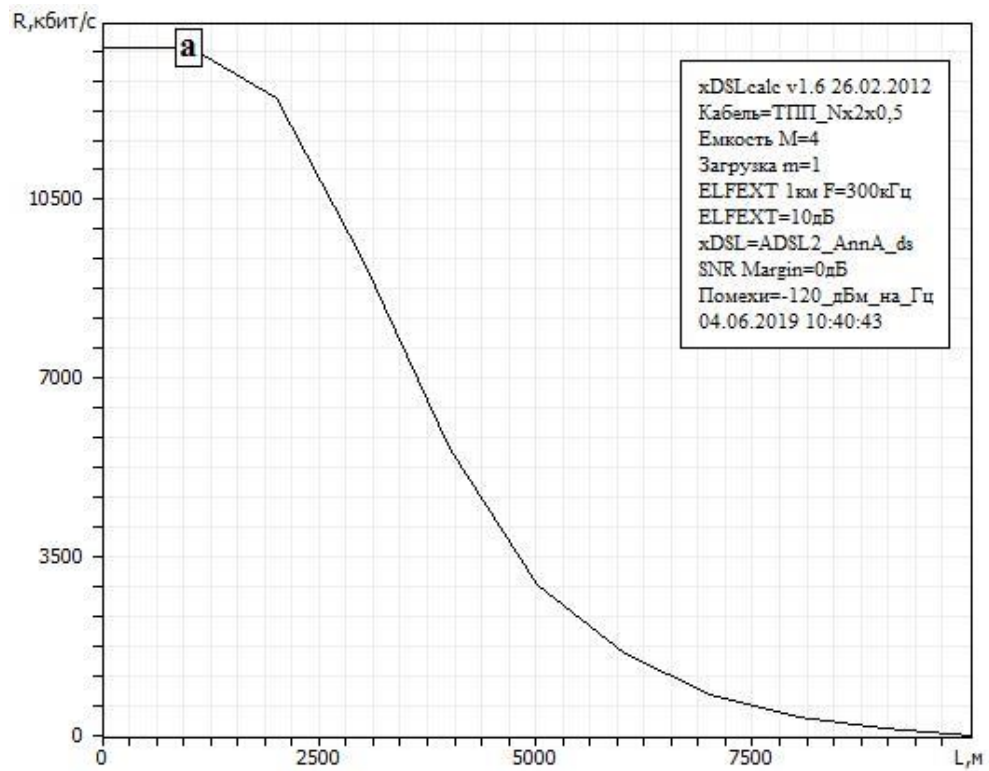


Рисунок 4.18 – Графік залежності швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії для технології ADSL2

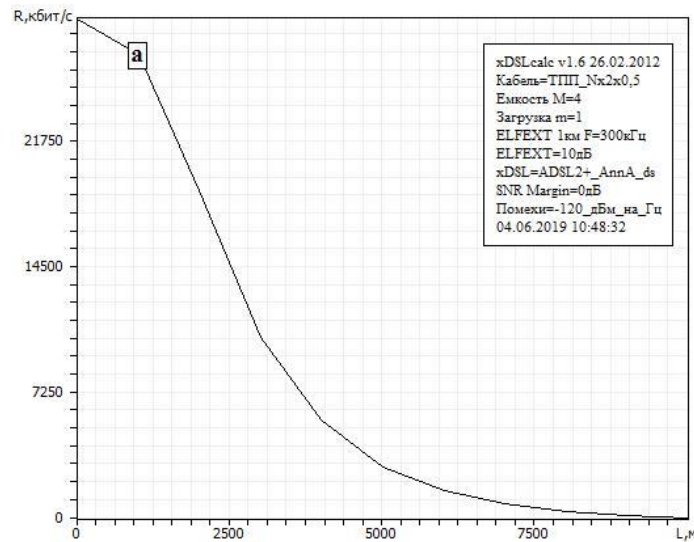


Рисунок 4.19 – Графік залежності швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії для технології ADSL2+

Таблиця 4.7 - Значення швидкостей передачі даних для різної довжини кабелю технології SHDSL з модуляціями TCPAM-16, TCPAM-64, TCPAM-128.

| Довжина лінії, м | Швидкість передачі даних кбіт/с | | |
|------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| | SHDSL, TCPAM-16 | SHDSL, TCPAM-64 | SHDSL, TCPAM-128 |
| 0 | 7680 | 12800 | 15360 |
| 1000 | 7680 | 12800 | 15360 |
| 2000 | 7680 | 12800 | 15360 |
| 3000 | 7680 | 11520 | 12416 |
| 4000 | 5120 | 7040 | 7616 |
| 5000 | 3456 | 4800 | 5248 |
| 6000 | 2496 | 3456 | 3776 |
| 7000 | 1856 | 2624 | 2816 |
| 8000 | 1472 | 1984 | 2048 |
| 9000 | 1152 | 1408 | 1408 |
| 10000 | 832 | 896 | 768 |

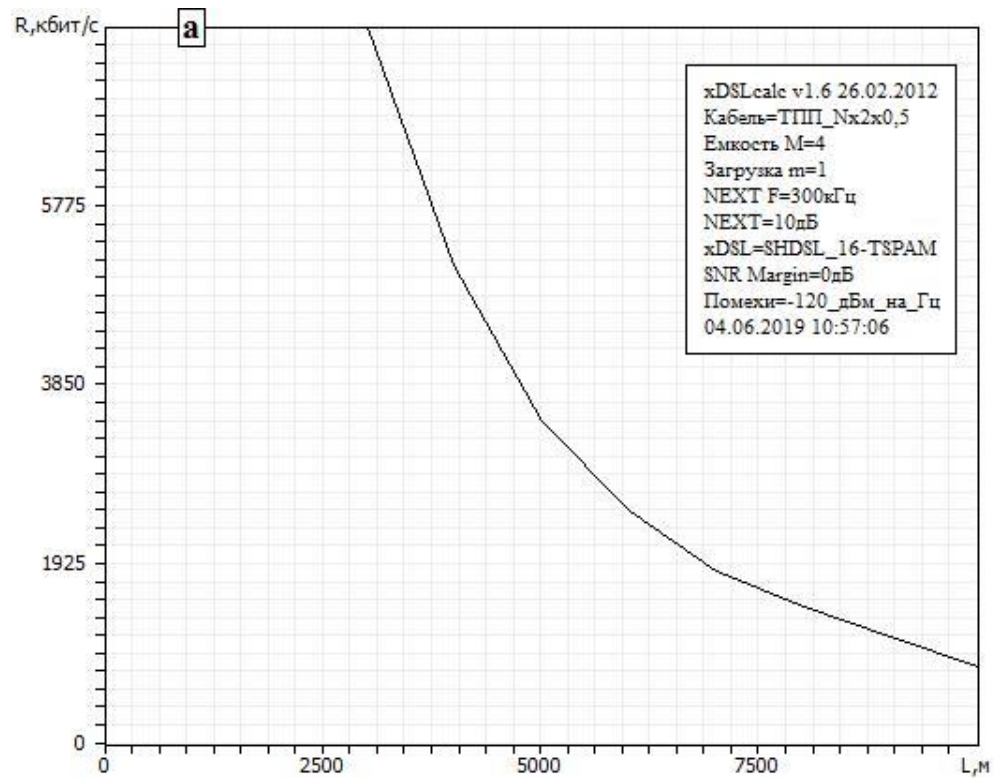


Рисунок 4.20 – Графік залежності швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії для технології SHDSL з модуляцією TSPAM-16

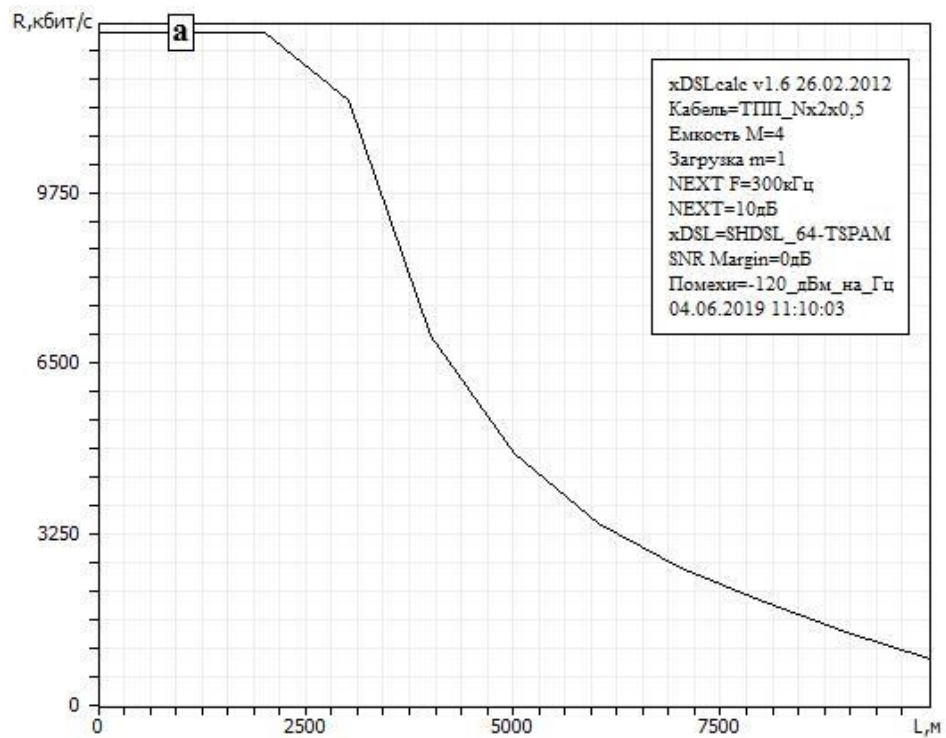


Рисунок 4.21 – Графік залежності швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії для технології SHDSL з модуляцією TSPAM-64

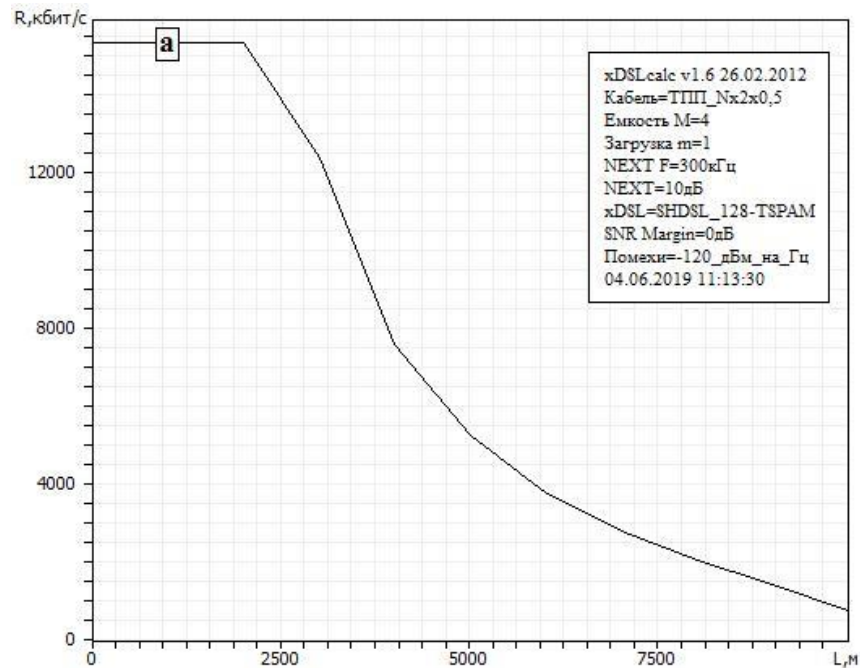


Рисунок 4.22 – Графік залежності швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії для технології SHDSL з модуляцією TSPAM-128

Таблиця 4.10 - Значення швидкості передачі даних для різної довжини кабелю технології VDSL2 з профілем 17а, та модуляцією DMT.

| Довжина лінії, м | Шидкість передачі даних кбіт/с | |
|------------------|--------------------------------|------------|
| | VDSL2, 17a | VDSL2, 30a |
| 0 | 168060 | 174120 |
| 1000 | 38108 | 38108 |
| 2000 | 6936 | 6936 |
| 3000 | 968 | 968 |
| 4000 | 0 | 0 |
| 5000 | 0 | 0 |
| 6000 | 0 | 0 |
| 7000 | 0 | 0 |
| 8000 | 0 | 0 |
| 9000 | 0 | 0 |
| 10000 | 0 | 0 |

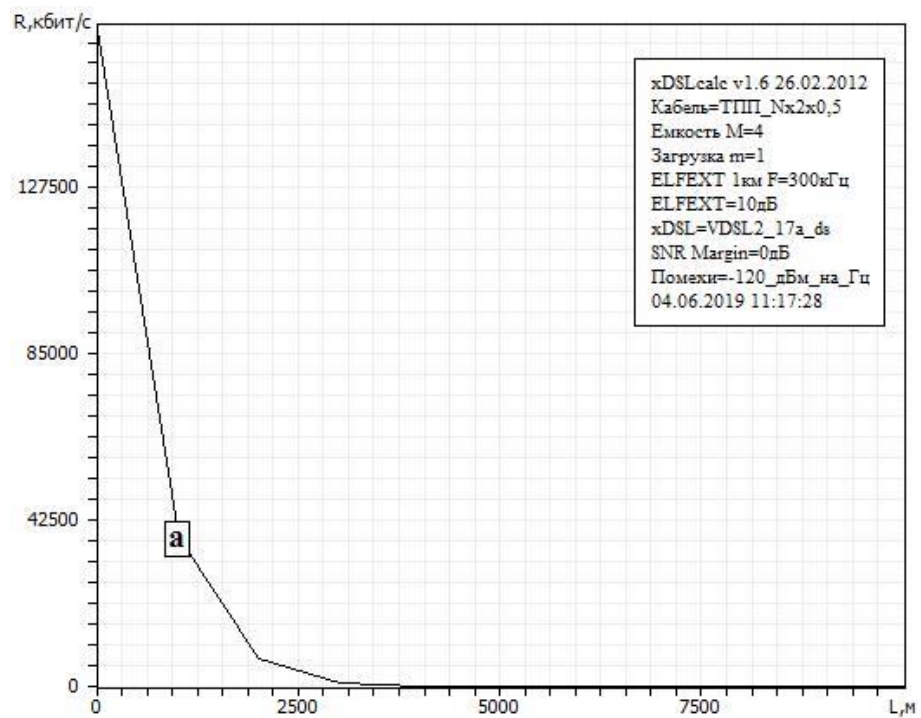


Рисунок 4.23 – Графік залежності швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії для технології VDSL2 з профілем 17a, та модуляцією DMT.

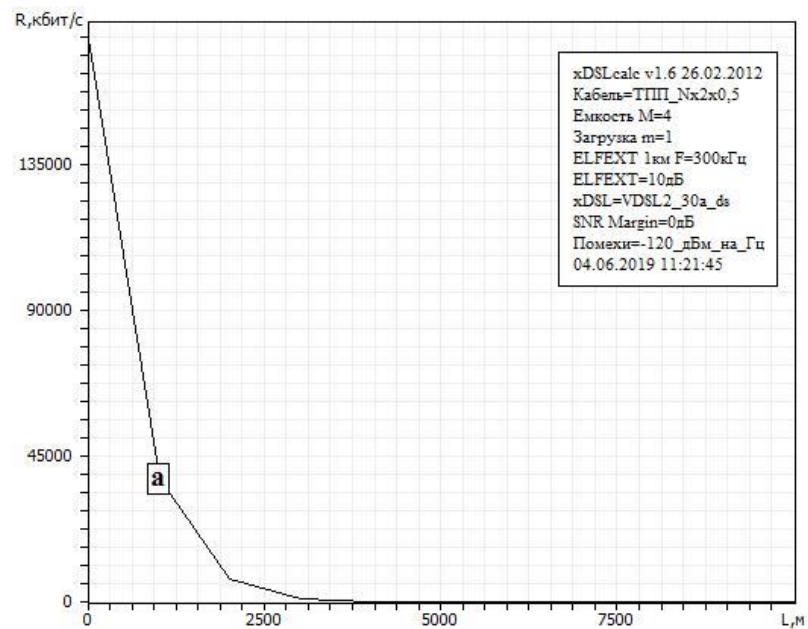


Рисунок 4.24 – Графік залежності швидкості передачі даних від довжини абонентської лінії для технології VDSL2 з профілем 30a, та модуляцією DMT.

Максимальну швидкість на найбільшу дальність (10 км) забезпечила лінія з технологією SHDSL з використанням модуляції TSPAM-64 – 896 кбіт/с. Однак на малих та середніх відстанях технологія SHDSL з використанням модуляції TSPAM-128. Це пояснюється тим, що багатопозиційна модуляція, в даному випадку TSPAM-128 більш вразлива до затухань в каналі, які відповідно ростуть зі збільшенням довжини лінії. Абсолютну найбільшу швидкість забезпечила технологія VDSL2 з профілем 30a. На відстані 1000 м швидкість передачі становить 38108 кбіт/с, однак вже на відстані 4000 м данні взагалі не передаються, навіть для передачі на відстані більше 2000 м доцільніше використовувати ADSL, яка зможе забезпечити таку ж швидкість передачі даних. А технологія ADSL2+ використовуючи модуляцію DMT на відстані 2000 м забезпечує втричі більшу швидкість.

4.3 Висновки з розділу 4

В даному розділі детально розглядаються технічні принципи, які застосовуються в xDSL-обладнанні. Показано переваги та недоліки лінійних кодів, що застосовуються, кожен з яких знаходить своє застосування в тій чи іншій технології. Розглянуті кодування, що застосовуються в технологіях xDSL, які забезпечують максимум достовірності передачі даних. Також був описаний механізм перемежовування символів, та наглядно проілюстровано, як символи на передаючій стороні міняють свій порядок, та як приймач відновлює вихідну послідовність.

Відзначимо, що технологія HDSL була практично витиснена технологіями SHDSL, ADSL за рахунок покращення структури кадру, використання коду Ріда-Соломона та оновлених процедур діагностики лінії, еволюціонувала в технологію ADSL2+ та закріпила своє місце на ринку. За

допомогою розширення смуги частот та технології векторизації VDLS-технології знаходять своє застосування в нових стандартах, таких як G.fast.

5 ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ XDSL ПРОВІДНИХ ВИРОБНИКІВ І ЇХ ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Основні виробники xDSL обладнання:

- Schmid Telecom (Швейцарія)
- Siemens (Швейцарія)
- Flexdsl (Швейцарія)
- RAD (Ізраїль)
- ZyXel (Тайвань)

Для проведення порівняльного аналізу розглянемо конкретні моделі SHDSL обладнання цих виробників.

Швейцарська компанія Schmid Telecom AG - світовий лідер в DSL технологіях і надійних інтегрованих системах передачі даних і телефонії. Розглянемо лінію обладнання Watson.

Основне призначення:

- Передача цифрових потоків E1 (2048 кбіт/с) по 1...4 парам мідного кабелю.
- Передача даних $N \cdot 64$ кбіт/с.
- Передача даних мереж Ethernet.

Область призначення:

- Організація каналів E1 та Ethernet по мідному кабелю між технологічними площадками, офісами і т.д.
- Підключення АТС до ТМЗК.
- Доступ до Інтернету.
- Об'єднання локальних обчислювальних мереж.
- Доступ до мереж наступного покоління.



Plug-in (на вузлі)



Tabletop (в приміщенні клієнта)

Рисунок 5.1 – Фото обладнання Schmid Telecom Watson Ethernet

Основні можливості:

- Технологія xDSL - G.SHDSL / G.SHDSL.bis
- Вбудований Ethernet комутатор з підтримкою VLAN (IEEE 802.1q) з одиночним і подвійним тегуванням (QinQ)
- Режими точка-точка, многоточка, Ethernet – повторювач
- Підтримка CoS (4 класу сервісу), організованих на основі IEEE802.1p (Layer 2) або DSCP (Layer 3)
- Вбудований SNMP агент
- Підтримка протоколу Rapid Spanning Tree (RSTP)

Перейдемо до обладнання компанії Siemens. Сімейство обладнання доступу ULAF + дозволяє забезпечити високу швидкість при симетричній передачі і ідеальний діапазон швидкостей, завдяки використанню технології передачі цифрового сигналу по мідному кабелю - SHDSL. При використанні цієї технології система ULAF + забезпечує ідеальне рішення для симетричного доступу в WAN і LAN мережах.

Рішення на базі системи ULAF + призначене для всіх, хто хоче мати універсальну систему передачі даних по мідних і оптичних лініях. Багатофункціональні апаратні засоби разом з модульністю інтерфейсів формують універсальну платформу для з'єднань різних типів абонентів комутованої мережі або мережі передачі даних.

Модеми ULAF + служать для організації високошвидкісної передачі даних і телефонії як по одному мономодовому оптоволокну, так і по мідному

кабельному середовищі, з використанням від однієї до чотирьох пар кабелю, і успішно застосовуються для:

- забезпечення високошвидкісного доступу до мереж Інтернет;
- організації цифрових каналів зв'язку між віддаленими об'єктами;
- підключення базових станцій стільникового зв'язку;
- об'єднання локальних мереж;
- підключення АТС до мережі загального користування;

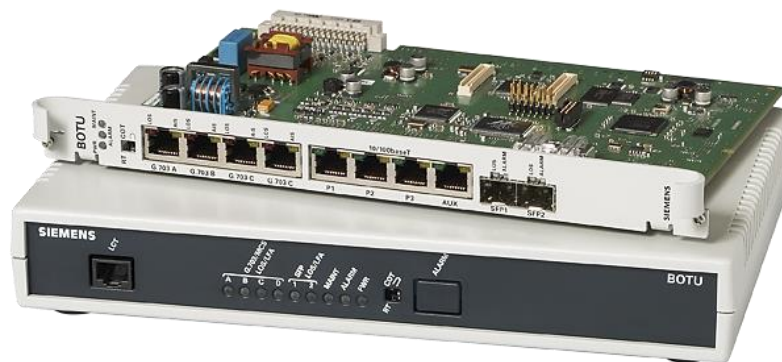


Рисунок 5.2 – Фото обладнання Siemens ULAUF+

Розглянемо обладнання компанії Flexdsl на прикладі моделі Onion 3.

Модеми FlexDSL Orion3 використовують розширення стандарту G.991.2 [16] і можуть передавати цифровий потік зі швидкістю до 15,2 Мбіт / с по одній парі. Збільшена напруга дистанційного живлення дозволяє дистанційно жити до 12 регенераторів з кожного боку тракту. Сумісний з модемами FlexDSL Orion2.

Особливості:

- Сучасний стандарт ITU-T 991.2 (G.shdsl / G.shdsl.bis) і його розширення для передачі синхронного цифрового потоку по одній, двом або чотирьом мідним парам
- Змінна лінійна швидкість
- Змінний тип модуляції

- Локальне або дистанційне живлення
- Можливість використання лінійних регенераторів
- Розширений температурний діапазон
- Широкий набір цифрових і аналогових інтерфейсів



Рисунок 5.3 - Фото обладнання Flexdsl Orion 3

Перейдемо до обладнання Ізраїльської компанії RAD на прикладі моделі ASMi-54. Сімейство ASMi-54 – це економічні керовані пристрої для розширення послуг E1 і Ethernet середньої пропускної здатності по мідній проводці за допомогою технології многопарного зв'язування. Модеми ASMi-54 ідеально підходять для операторів фіксованого та мобільного зв'язку, а також корпоративних мереж в програмах економічної передачі голосу і широкосмугового трафіку даних в топології «точка-точка» або «центр-радіальні канали».

Особливості:

- Расширение E1/T1 и Fast Ethernet по многочисленным линиям SHDSL.bis
- Відповідає стандартам ITU-T G.991.2 [16] і ETSI 101524 для HDSL
- Кодування TC-PAM 16 або TC-PAM 32

- Зв'язування каналів EFM згідно IEEE 802.3-2005, зв'язування M-Pair для HDSL згідно G.991.2 [16]
- Комутація та мостові з'єднання Ethernet
- вбудований маршрутизатор (ASMi-54L/RT)
- пріоритизація віртуальних локальних мереж і підтримка QoS Ethernet
- підтримка топології «ланцюг» і «кільце» з STP згідно IEEE 802.1D
- управління через SNMP, Telnet і ASCII-термінал

Приведемо порівняльний аналіз в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняльний аналіз моделей xDSL обладнання провідних виробників.

| Параметр порівняння | Виробник | | | |
|--------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Schmid Telecom | Siemens | FlexDSL | RAD |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Назва обладнання | Watson | ULAF+ | Orion3 | ASMi-54 |
| Кількість пар | 1,2,4 | 1,2 | 1,2,4 | 1,2 |
| Швидкість передачі по 1 парі, Кбіт/с | До 15300 | До 5700 | До 15300 | До 5700 |
| Макс. дальність зв'язку для E1 по 1-й парі ТПП 0,5, км | 5,3 | 5,2 | 5 | 3,7 |
| Дальність зв'язку для E1 по 2-м парам ТПП 0,5 км | 7,2 | 7 | 7 | 6,3 |
| Наявність лінійного захисту | є | є | є | є |
| Інтерфейс E1 | G703/G704 | G703/G704 | G703/G704 | G703/G704 |
| Інтерфейси передачі даних | V35,V36,X 21, Ethernet | V35,V36,X 21, Ethernet | V35,V36,X 21, Ethernet | V35,V36,X 21, Ethernet |
| Наявність регенераторів | Є до 2-х пар | Є до 2-х пар | Є з функцією ADD/DROP | Ні |

Продовження таблиці 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------------|---|---|---|-------|
| Наявність дист. живл. | є | є | є | немає |
| Наявність мультисервісного режиму | є | є | є | є |
| Функція Wetting Current | є | є | є | є |
| Наявність системи управління SNMP | є | є | є | є |

5.1 Висновки з розділу 5

В цьому розділі ми провели огляд на провідне обладнання основних виробників xDSL обладнання. Для проведення порівняльної характеристики було вибрані лінійки SHDLS-обладнання, а саме: Watson від Schmid Telecom, ULAF + від Siemens. Orion3 від FlexDSL та ASMi-54 від компанії RAD.

Watson від Schmid Telecom забезпечує максимальну дальність зв'язку по одній та двом парам, тому цю модель буде доцільно використовувати для з'єднання віддалених об'єктів, наприклад АТС, та об'єднання технічних площадок, офісів. Найбільшу швидкість передачі по одній парі змогли забезпечити моделі від FlexDSL та Schmid Telecom. Моделі ULAF+ та ASMi-54 забезпечують майже втричі меншу швидкість передачі, однак цього більш ніж достатньо для організації каналу Інтернет.

6 ВАРІАНТИ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ПОБУДОВІ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

В даному розділі приведемо приклади технічних рішень при побудові мереж доступу. Варіативність технічних підходів забезпечується різноматністю технологій на ринку і також великим вибором xDSL обладнання. Однак загальні тенденції до вирішення технічних питань при побудові мереж доступу зберігаються.

Обладнання SHDSL застосовується для об'єднання локальних мереж, організації доступу в Інтернет, організації доступу до мереж NGN, прив'язки базових станцій в мобільних мережах. На рисунку 6.1 зображений варіант включення офісної АТС в телефонну мережу загального користування за допомогою SHDSL модемів: станційний модем розміщується в приміщенні міської автоматичної телефонної станції, а абонентський модем в офісному приміщенні користувача.

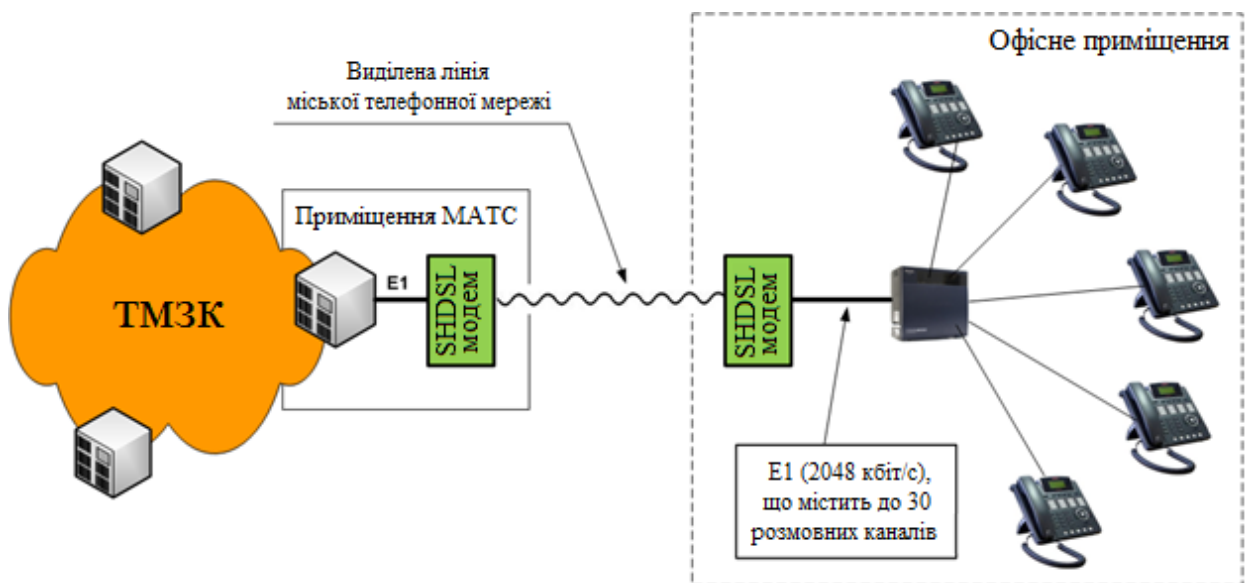


Рисунок 6.1 – Включення офісної АТС в ТМЗК

На рисунку 6.2 зображений варіант організації доступу в Інтернет для підприємств на базі обладнання Watson Minrack та Watson Table Top.

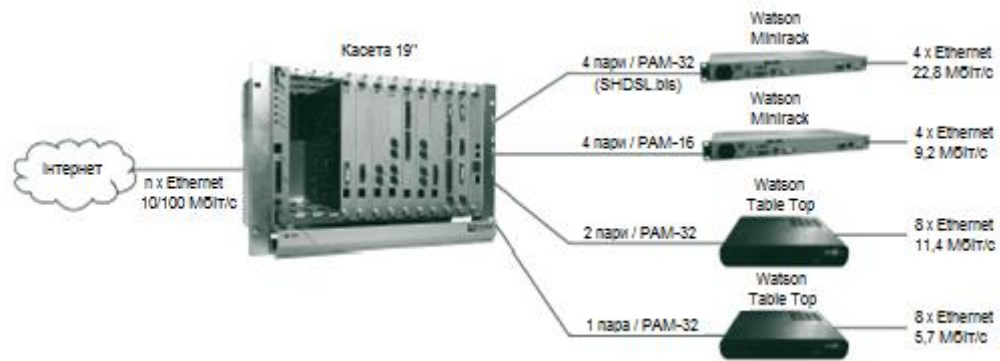


Рисунок 6.2 – Організація доступу в Інтернет для підприємств

На рисунку 6.3 приведена схема підключення базових станцій мобільних мереж 3G за допомогою обладнання Watson Multiservice

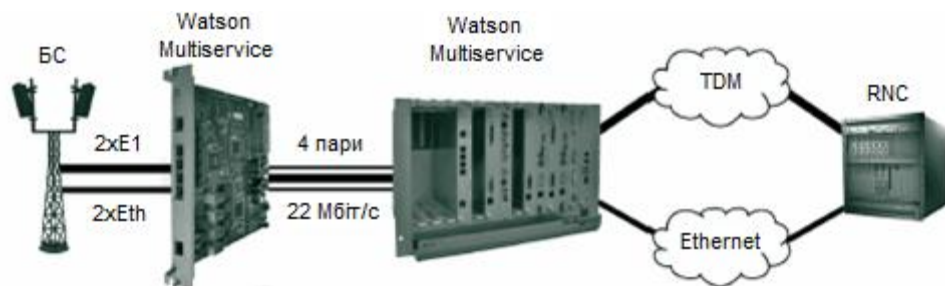


Рисунок 6.3 – Підключення базових станцій мобільних мереж 3G

На рисунку 6.4 зображена система абонентського ущільнення на базі обладнання EMX. EMX – це передова, унікальна, універсальна багатоканальна система ущільнення абонентських ліній для передачі голосу та даних, основана на технології G.SHDSL, яка застосовується в абонентських мережах для підключення до шістнадцяти телефонних абонентів по одній парі. Крім того система забезпечує передачу даних і надає з'єднання Ethernet LAN.

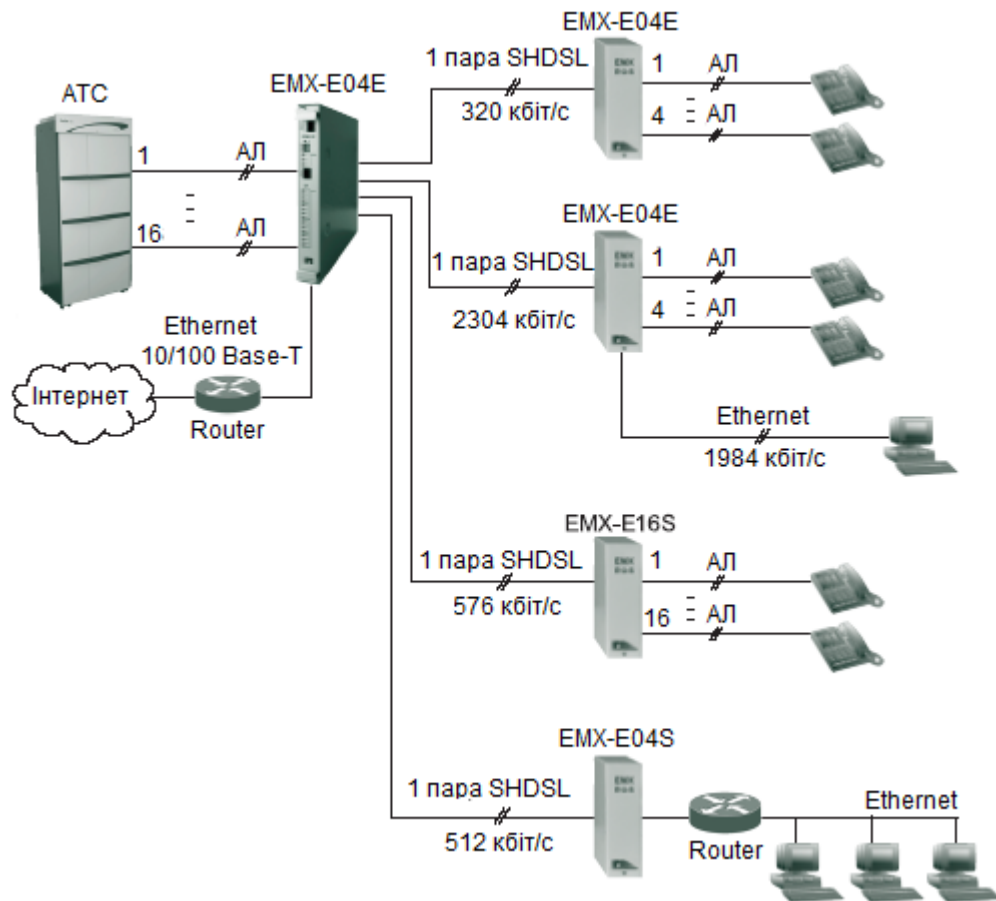


Рисунок 6.4 – Система абонентського ущільнення

Схема надання мультисервісних послуг за допомогою IP DSLAM зображена на рисунку 6.5. Для розподілу трафіку різних сервісів на участку Провайдер-DSLAM застосовується технологія VLAN.

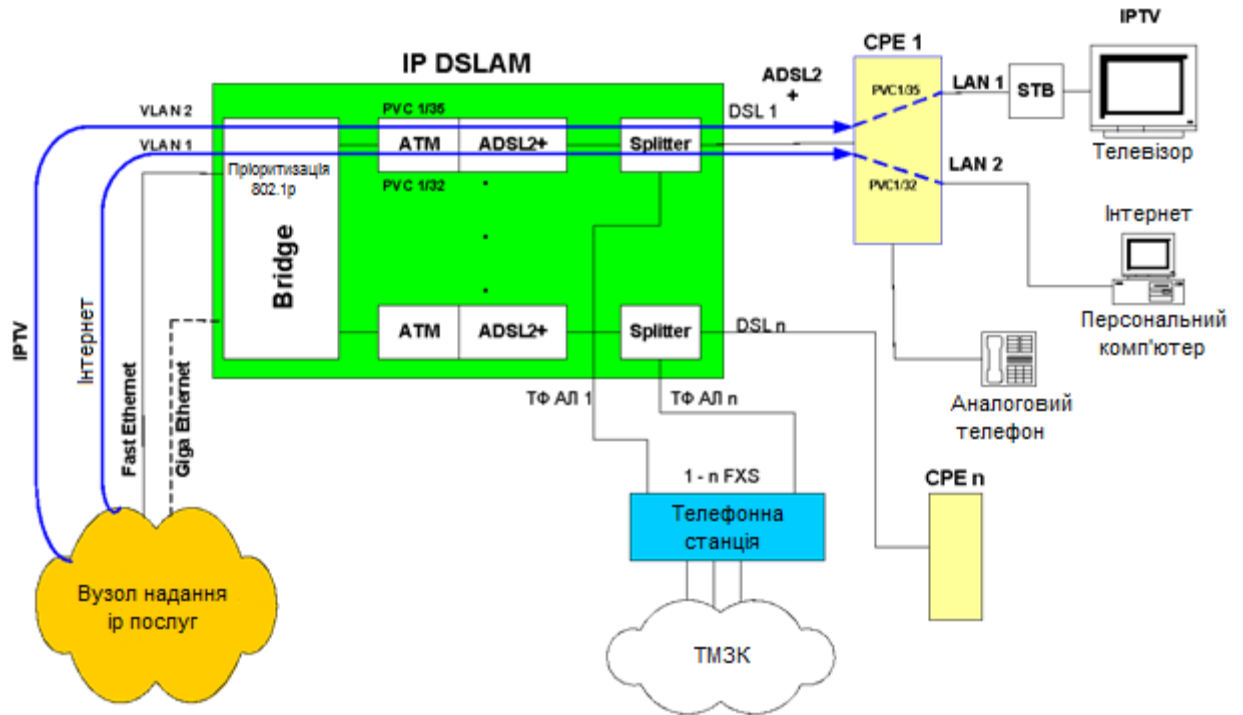


Рисунок 6.5 – Надання мультисервісних послуг за допомогою IP DSLAM

Технології VDSL знайшли своє застосування в організації останнього футу (дюйму). Це частина каналу, крайня до границі відповідальності оператора зв'язку. Як правило під цим розуміється відрізок від повітряного вводу лінії в будівлю до клієтського обладнання доступу, або це розведення кабелю по приміщенню від розподільчої шафи, яка також знаходиться в приміщенні, до обладнання доступу. Застосування технології VDSL в такому сценарії зображено на рисунку 6.6.

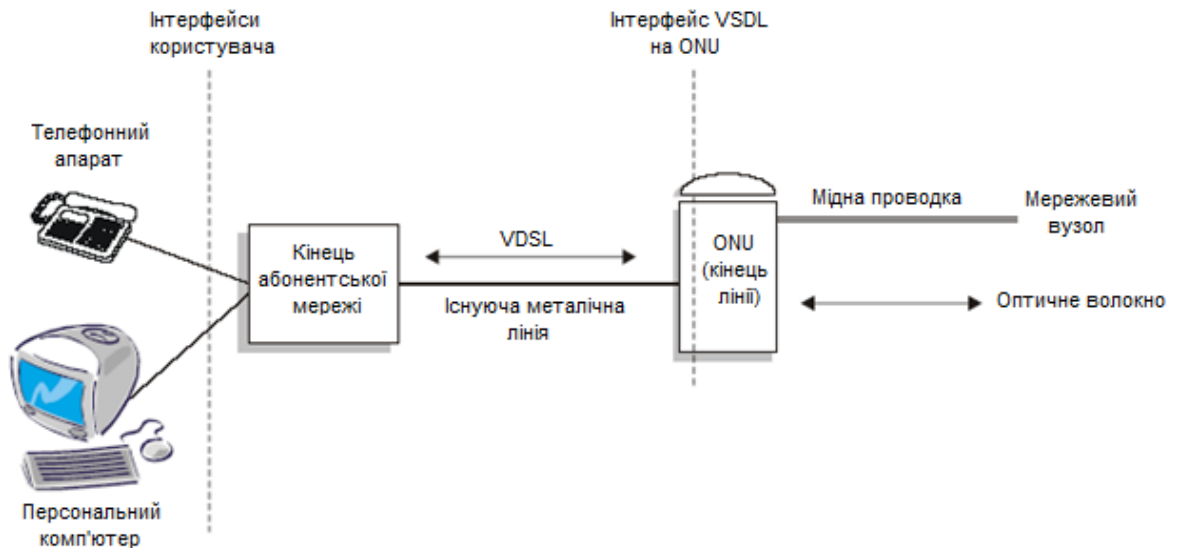


Рисунок 6.6 – Типове застосування VDSL

6.1 Висновки з розділу 6

Ми продемонстрували варіанти технічних рішень побудови мереж доступу на основі обладнання xDSL: організації доступу в мережу Інтернет, підключення АТС в ТМЗК та інші. Проілюстрували систему абонентського ущільнення та рішення на основі вузлів агрегації трафіку. Також було розкрито поняття останнього футу (дюйму) – під ним розуміється відрізок лінії, що забезпечує з'єднання абонентського обладнання до обладнання доступу безпосередньо в будівлі абонента, та продемонстровано приклад застосування xDSL-технологій в організації останнього футу (дюйму).

ВИСНОВКИ

Необхідність в технологіях xDSL появилась в першу чергу в зв'язку зі швидким ростом мережі Інтернет. Користувачі мали потребу в збільшенні швидкості передачі і розширенні можливості дистанційного доступу.

В третьому розділі ми розглянули технічні принципи, завдяки яким технології xDSL забезпечують передачу даних на високій швидкості та на максимальну дальність. Саме використання передових рішень в телекомунікаційній галузі технології xDSL забезпечили собі місце на сучасному ринку.

Розглянуті в четвертому розділі технології xDSL демонструють гнучкість самої технології. Завдяки такому різноманіттю технологій з'являється можливість для інженерів підібрати найбільш підходящу в тій чи іншій ситуації технологію, що забезпечує різноманіття технічних рішень при побудові мереж доступу. Такі варіанти були розглянуті нами в п'ятому пункті.

Технології xDSL є досить практичним вирішенням направленим на забезпечення високої пропускної здатності мідному кабелю. Застосування технологій xDSL для високошвидкісного доступу до ресурсів телекомунікаційної мережі особливо примітно тим, що ці технології використовують існуючу кабельну інфраструктуру міської телефонної мережі в якості середовища для передачі. Це дозволяє провайдерам послуг економити значну частину коштів при організації каналів передачі даних для своїх абонентів. Крім того, це значно прискорює саму процедуру, оскільки більша частина часу витрачається саме на прокладення кабельного середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]Балашов В.О., Барба І.Б., Корнійчук В.І., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Орешков В.І. Проектування, будівництво та експлуатація мереж широкопasmового доступу
- [2]Балашов В.А., Ефремов В.П., Ляховецький Л.М. Системи передачі, основанні на Рекомендації ІТУ G.992 // Зв'язок. – 2001. – №2. – С. 34-40.
- [3]Балашов В.А., Копійка О.В., Ляховецький Л.М. VDSL – найближче майбутнє цифрового абонентського доступу // Зв'язок. – 2005. – №4. – С. 10-16.
- [4]Балашов В.А., Ляховецький Л.М. Алгоритми оптимізації спектра групового сигналу в багатоканальних модемах // Наукові праці УДАЗ ім. О. С. Попова. – 1999. – №1. – С. 37-43.
- [5]Горальски Вальтер. Технології ADSL і DSL. – М.: Видавництво „Лорі”, 2000.
- [6]РД 45.120-2000 Норми технологічного проектування. Міські і сільські телефонні мережі.
- [7]ГОСТ 20802-75. Міські симетричні телефонні кабелі з мідними жилами в свинцевій оболонці.
- [8]ГОСТ 22498-77. Міські телефонні кабелі з поліетиленовою ізоляцією в пластмасовій оболонці.
- [9]ГОСТ Р 51311-99. Кабелі телефонні, кабелі з поліетиленовою ізоляцією в пластмасовій оболонці.
- [10] ОСТ 45.36-97. Лінії кабельні, повітряні і змішані міських телефонних мереж. Норми електричні експлуатаційні.
- [11] ОСТ 45.82-96. Мережа телефонна міська. Лінії абонентські кабельні з металевими жилами. Норми експлуатаційні.

- [12] ОСТ 45.83-96. Сеть телефонная сельская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.
- [13] Рекомендація ITU-T MCE-T G.961. Digital transmission system on metallic local lines for ISDN basic access (Цифрова система передачі на металічних лініях для доступу на базовій швидкості ЦМІС).
- [14] Рекомендація ITU-T MCE-T G.902 Framework Recommendation on functional access networks. Architecture and functions, access types, management and service node access (Базова Рекомендація по функціональним мережам доступу. Архітектура і функції, типи доступу, доступ до вузла управління та послуг);
- [15] Рекомендація ITU-T MCE-T G.991.1 High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers (Прийомопередавачі високошвидкісної цифрової абонентської лінії (HDSL));
- [16] Рекомендація ITU-T MCE-T G.991.2 Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers (Прийомопередавачі однопарної високошвидкісної цифрової абонентської лінії (SHDSL));
- [17] Рекомендація ITU-T MCЭ-T G.992.1 Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Прийомопередавачі асиметричної цифрової абонентської лінії (ADSL));
- [18] Рекомендація ITU-T MCE-T G.992.2 Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers (Прийомопередавачі асиметричної цифрової абонентської лінії (ADSL) без спліттера));
- [19] Рекомендація ITU-T MCE-T G.992.3 Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) (Прийомопередавачі асиметричної цифрової абонентської лінії 2 (ADSL2));
- [20] Рекомендація ITU-T MCE-T G.992.4 Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2) (Прийомопередавачі асиметричної цифрової абонентської лінії без спліттера 2);

- [21] Рекомендація ITU-T MCE-T G.992.5 Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers - Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2 +) (Прийомопередавачі асиметричної цифрової абонентської лінії - розширена смуга частот ADSL2 (ADSL2 +));
- [22] Рекомендація ITU-T MCE-T G.993.1 Very high speed digital subscriber line transceivers (Прийомопередавачі супершвидкісної цифрової абонентської лінії);
- [23] Рекомендація ITU-T MCE-T G.993.2 Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2) (Прийомопередавачі супершвидкісної цифрової абонентської лінії (VDSL2)); Ann.B. Region B (Europe) (Регіон В (Європа))
- [24] Рекомендація ITU-T MCE-T G.995.1 Overview of digital subscriber line (DSL) Recommendations (Огляд Рекомендацій по цифровим абонентських лініям (DSL));
- [25] Рекомендація ITU-T MCE-T G.996.1 Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers (Процедури тестування приймачів цифрових абонентських ліній (DSL));
- [26] Рекомендація ITU-T MCE-T G.997.1 Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers (Управління на фізичному рівні для приймачів цифрових абонентських ліній);
- [27] Рекомендація ITU-T MCE-T L.19 Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL (Багатопарні мідні мережеві кабелі, що забезпечують одночасну роботу декількох служб, таких як POTS, ISDN і xDSL);
- [28] ANSI T1.417 - 2001. American National Standard for Telecommunications. - Spectukrm Management for Loop Transmission Systems (Управління спектром для систем передачі по абонентських лініях);
- [29] ETSI TR 101 830 -2v.1.1.1. Technical Report. Transmission and multiplexing (TM); Access networks; Spectral management on metallic access networks; Part 2: Technical methods for performance evaluation (Передача і

мультиплексування; Мережі доступу. Управління спектром на мережах доступу, побудованих на кабелях з металевими жилами; Частина 2. Технічні методи для оцінки характеристик);

- [30] 45 ETSI TS 101 270-1 Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 1: Functional requirements (Передача і мультиплексування; Системи передачі для доступу по металевим кабелям доступу; супершвидкісної цифрова абонентська лінія (VDSL); Частина 1: Функціональні вимоги).
- [31] <http://jak.bono.odessa.ua/>
- [32] web.posibnyky.vntu.edu.ua
- [33] <http://uk.x-pdf.ru>